

**ANALISIS PERSAMAAN LOUIS DE BROGLIE MENGENAI
PARTIKEL SEBAGAI GELOMBANG**



Skripsi

Diajukan untuk Melengkapi Tugas - Tugas dan Memenuhi Syarat – syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd)
Dalam Ilmu Fisika

Oleh

**NESI DWI AMBARWATI
1411090215**

Jurusan : Pendidikan Fisika

**PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS NEGERI RADEN INTAN LAMPUNG
1439 H/2018 M**

**ANALISIS PERSAMAAN LOUIS DE BROGLIE MENGENAI
PARTIKEL SEBAGAI GALOMBANG**

Skripsi

Diajukan untuk Melengkapi Tugas - Tugas dan Memenuhi Syarat – syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd)
Dalam Ilmu Fisika

Oleh

**NESI DWI AMBARWATI
1411090215**

Jurusan : Pendidikan Fisika

Pembimbing I : Dr. Hj. Meriyati, M.Pd

Pembimbing II : Mukarramah Mustari, M.Pd

**PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN
UNIVERSITAS NEGERI RADEN INTAN LAMPUNG
1439 H / 2018 M**

ABSTRAK

Jenis penelitian ini adalah penelitian kualitatif yang termasuk dalam penelitian kepustakaan atau *library research* pada bidang fisika teori berupa persamaan teori mekanika kuantum. Teori fisika yang dikaji adalah persamaan dari Louis de Broglie yang membahas tentang gelombang dan partikel. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rumusan persamaan Louis de Broglie mengenai Partikel sebagai Gelombang

Berdasarkan hasil kajian yang dilakukan, terdapat rumusan matematis dari suatu cahaya dengan menggunakan rumus $E = mc^2$ sehingga cahaya tersebut dapat bersifat sebagai gelombang dan partikel. Dari hasil tersebut kemudian dapat dijabarkan dengan menggunakan persamaan Louis de Broglie $\lambda = \frac{h}{p}$ yang diperoleh dari dua gambaran yang berbeda untuk benda yang sama yaitu sebagai gelombang dan sebagai partikel sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam sebuah partikel terdapat panjang gelombang yang dapat dibuktikan dengan rumus $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0E}}$. Ini menunjukkan hubungan antara gelombang dan partikel, bahwa sifat gelombang dan partikel tidak tampak sekaligus, sifat yang tampak bergantung pada panjang gelombang dari de Broglie dengan dimensinya serta dimensi sesuatu yang berinteraksi dengannya. Sehingga dapat dikatakan bahwa partikel sebagai gelombang.

Kata Kunci : Persamaan Louis de Broglie, fase gelombang, dan partikel foton.



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN INTAN LAMPUNG
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN

Alamat : Jl. Let. Kol. H. Endro Suratmin Sukarama 1 Bandar Lampung 35131 Telp.(0721)703260

PERSETUJUAN

Judul Skripsi: ANALISIS PERSAMAAN LOUIS DE BROGLIE MENGENAI
PARTIKEL SEBAGAI GELOMBANG

Nama : Nesi Dwi Ambarwati
NPM : 1411090215
Jurusan : Pendidikan Fisika
Fakultas : Tarbiyah dan Keguruan

MENYETUJUI

Untuk Munaqasyahkan dan Dipertahankan dalam Sidang Munaqasyah Fakultas
Tarbiyah dan Keguruan UIN Raden Intan Lampung

Pembimbing I

Dr. Hj. Meriyati, M.Pd
NIP.19690608 199403 2 001

Pembimbing II

Mukarramah Mustari, M.Pd
NIP.19851212 201503 2 006

Mengetahui
Ketua Jurusan Pendidikan Fisika

Dr. Yuherti, M.Pd
NIP.19770920 200604 2 011



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN INTAN LAMPUNG
FAKULTAS TARBIYAH DAN KEGURUAN

Alamat : Jl. Let. Kol. H. Endro Suratmin Sukarame I Bandar Lampung 35131 Telp(0721)703260

PENGESAHAN

Skripsi dengan Judul **ANALISIS PERSAMAAN LOUIS DE BROGLIE MENGENAI PARTIKEL SEBAGAI GELOMBANG.** Disusun Oleh Nesi Dwi Ambarwati, NPM 1411090215, Jurusan Pendidikan Fisika telah diujikan dalam sidang Munaqosyah Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, pada Hari / Tanggal : Jumat / 16 November 2018

TIM MUNAQOSYAH

Ketua : Dr. Yuberti, M.Pd. (.....)

Sekretaris : Welly Anggraini, M.Si. (.....)

Pembahas Utama : Ardian Asyari, M.Pd. (.....)

Pembahas Pendamping I : Dr. Hj. Meriyati, M.Pd. (.....)

Pembahas Pendamping II : Mukarramah Mustari, M.Pd (.....)

Mengetahui,
Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan

Prof. Dr. H. Chairul Anwar, M.Pd.
NIP. 19560810 198703 1 00 1

MOTTO

أَمَّنْ يَبْدُوْا الْخَلْقَ ثُمَّ يُعِيْدُهُ وَمَنْ يَرْزُقُكُمْ مِّنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ أَءِلَٰهٌ مَّعَ اللَّهِ قُلْ هَاتُوا بُرْهَانَكُمْ إِن كُنْتُمْ صَادِقِينَ ٦٤

“Tunjukkanlah bukti kebenaranmu, jika kamu memang orang-orang yang benar”.

(Q.S. Al-Naml : 64)¹



¹ Al-Quran Digital

PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah dan rasa syukur yang tak terkira dan sebagai ungkapan terimakasih, ku persembahkan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua ku tercinta, ibunda Samini, S.Pd dan Ayahanda Sulkan S.Pd yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, dan mencurahkan segenap kasih sayang pada-ku, yang tak pernah lelah berdoa dan banting tulang demi keberhasilanku.
2. Nenek tercinta, Kaminten yang sampai detik ini selalu mendo'akan ku dan mencurahkan segenap kasih sayang padaku.
3. Untuk kakak ku tersayang Desi Faria Sulfiana, S.Pd yang menjadi panutan untukku dan selalu memberikan dorongan semangat untuk mencapai cita-cita setinggi mungkin.
4. Untuk adik-adikku tersayang Irma Ayu Selsawati dan Hafidz Al-Mahfudz yang selalu memberikan keceriaan pada ku saat rasa lelah menghampiri.
5. Almamater.

RIWAYAT HIDUP

Nesi Dwi Ambarwati lahir di desa Suka Agung, kecamatan Mesuji kabupaten Tulang Bawang pada tanggal 16 Juni 1996. Anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan bapak Sulkan dan ibu Samini.

Pendidikan formal yang pernah ditempuh oleh penulis adalah pendidikan SD ditamatkan pada tahun 2008 di SDN 01 Wonosari, kemudian melanjutkan pendidikan SMP di provinsi Jawa Tengah tepatnya di SMP N 01 Tawang Sari ditamatkan pada tahun 2011. Peneliti kemudian melanjutkan pendidikan SMA di SMA N 01 Tawang Sari lulus pada tahun 2014. Setelah lulus SMA kemudian kembali ke Lampung untuk melanjutkan pendidikan di UIN Raden Intan Lampung mengambil Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan.

Pada bulan Juli 2017 peneliti mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tulung Agung, Kecamatan Gadingrejo, Kabupaten Pringsewu. Pada bulan Oktober 2017 peneliti melaksanakan Praktik Pengalaman Lapangan (PPL) di SMA Muhammadiyah 2 Bandar Lampung.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Fokus dan Subfokus Penelitian.....	7
1. Fokus Penelitian.....	7
2. Subfokus Penelitian.....	7
C. Rumusan Masalah	7
D. Tujuan Penelitian	8
E. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II LANDASAN TEORI	
A. Deskripsi Konseptual Fokus dan Subfokus Penelitian.....	9
1. Sejarah Berkembangnya Beberapa Hipotesis Sebelum Munculnya Hipotesis Louis de Broglie	9
2. Persamaan Louis de Broglie mengenai Partikel sebagai Gelombang.....	28

B. Hasil Penelitian yang Relevan	30
--	----

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Sifat Penelitian	35
1. Jenis Penelitian	35
2. Sifat Penelitian.....	36
B. Instrumen Penelitian.....	37
C. Sumber Data.....	38
1. Sumber Data Primer	38
2. Sumber Data Sekunder	38
D. Teknik Pengumpulan Data.....	39
E. Metode Pengolahan Data	40
F. Analisis Data	41

BAB IV PEMBAHASAN

A. Perkembangan Fisika Klasik dan Fisika Modern	43
1. Fisika Klasik	43
2. Fisika Modern	46
B. Persamaan Hipotesis Louis de Broglie mengenai Partikel sebagai Gelombang	48

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	57
B. Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagan Percobaan Efek Compton	23
Gambar 2.2 Geometri Hamburan Compton	27



DAFTAR LAMPIRAN

1. Bagan I Perkembangan Fisika Klasik
2. Bagan II Perkembangan Fisika Modern.....
3. Instrumen untuk Ahli Materi
4. Surat Tugas Validasi
5. Berita Acara Validasi
6. Instrumen Penelitian
7. Surat Keterangan Penelitian.....
8. Surat Keterangan Bebas Plagiat
9. Kartu Konsultasi Skripsi
10. Nota Dinas
11. Surat Tanda Penyerahan Jurnal
12. Perhitungan Rumus Manual



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Ilmu fisika merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari fenomena-fenomena alam, khususnya yang berkaitan dengan benda mati.² Fisika berurusan dengan perilaku dan struktur materi. Dengan kata lain fisika juga merupakan ilmu tentang perubahan di alam.³ Perkembangan ilmu fisika yang begitu pesat, khususnya pada abad ke-20, telah mengubah gaya dan budaya manusia di dunia. Dua puluh tahun yang lalu kita masih menggunakan tabung monitor yang memiliki radiasi elektromagnetik tinggi sehingga tidak baik untuk kesehatan, namun saat ini kita sudah menggunakan layar *Light Emitting Diode* (LED) yang memiliki tingkat radiasi mendekati 0.⁴

Fenomena lainnya yang kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari seperti penggunaan telepon selular yang semakin hari semakin canggih. Dahulu hanya orang-orang tertentu yang dapat menggunakan telepon selular karena barang tersebut dianggap mewah dan mahal. Namun seiring kemajuan zaman, telepon selular atau biasa disebut dengan *handphone* sudah dianggap sebagai sesuatu yang biasa di masyarakat. Hal ini merupakan dampak perkembangan ilmu fisika yang telah dijelaskan diatas. Dengan ilmu fisika bisa mengubah telepon selular seberat kiloan

² Dies Natalis XVIII, 'Perkembangan Dan Peran Ilmu Fisika Dalam Pendidikan Karakter', (Bandung : Universitas Katolik Parahyangan, 2011), hal 29.

³ Yaziz Hasan, 'Fisika Dalam Perspektif: Suatu Tinjauan Perkembangan Dan Peran Masyarakat', (Jakarta : Pusat Kajian Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Atom Nasional, 2014), hal 1.

⁴Dies Natalis XVIII.*Op.Cit.*

yang hanya bisa digunakan untuk sms dan telepon, sekarang bisa berbentuk lebih praktis dengan berbagai fitur yang ditawarkan. Kemajuan teknologi ini semakin meningkat karena adanya penggunaan gelombang elektromagnetik dalam kehidupan sehari-hari. Kajian mengenai gelombang elektromagnetik memiliki cakupan yang sangat luas di berbagai aspek.

Dasar pengetahuan tentang gejala kelistrikan dan kemagnetan menjadi salah satu pondasi pokok dalam mendukung perkembangan teknologi modern. Dengan demikian fenomena elektromagnetik memiliki dampak yang begitu besar terhadap kemajuan masyarakat. Pemahaman mengenai fenomena elektromagnetik dikaji menggunakan teori medan elektromagnetik yang merupakan studi interaksi antara muatan listrik dalam keadaan diam maupun bergerak. Fenomena interaksi antara muatan listrik tersebut erat kaitannya dengan keberadaan medan listrik dan medan magnet yang kesemuanya dijelaskan oleh Persamaan Maxwell yang merupakan bagian dari perkembangan fisika klasik.⁵ Pada akhir abad ke sembilan belas banyak fenomena fisika yang tidak dapat dijelaskan oleh teori fisika klasik.

Dalam hal ini mengenai gelombang elektromagnetik telah dijelaskan dalam firman Allah SWT yang tertera dalam Al-Qur'an jauh sebelum para ilmuwan menemukannya. Salah satu nya terdapat dalam surat Al- Qhashas ayat 71 :

قُلْ أَرَأَيْتُمْ إِنْ جَعَلَ اللَّهُ عَلَيْكُمُ اللَّيْلَ سَرْمَدًا إِلَى يَوْمِ الْقِيَمَةِ مَنْ إِلَهٌ غَيْرُ اللَّهِ يَأْتِيكُمْ بِضِيَاءٍ أَوْ لَا تَسْمَعُونَ ٧١

⁵Khairiah dkk, 'Gelombang dan Optika : Gelombang Elektromagnetik' (Banjarmasin : Universitas Lambung Mangkurat, 2013), hal 1.

Artinya : “Katakanlah : “terangkanlah kepadaku, jika Allah menjadikan untukmu malam itu terus menerus sampai hari kiamat, siapakah Tuhan selain Allah yang akan mendatangkan sinar terang kepadamu? Maka apakah kamu tidak mendengar?” (Qs. Al-Qhashas 28 : 71).⁶

Dari penggalan ayat diatas terdapat kata sinar terang yang Allah datangkan atau karuniakan di dunia ini agar bermanfaat bagi manusia. Sinar tersebut dalam fisika terdapat dalam spektrum gelombang elektromagnetik yang masing-masing memiliki manfaat dalam kehidupan sehari-hari contohnya seperti ; 1.) Sinar gamma (mengobati penyakit kanker/tumor); 2.) Sinar X (mendeteksi patah tulang, pengecekan barang-barang di pesawat atau peti kemas); 3.) Sinar ultraviolet (di laboratorium pada penelitian bidang spektroskopi digunakan untuk mengecek unsur pada bahan-bahan tertentu); 4.) Sinar infra merah (pada bidang spektroskopi juga digunakan untuk mengecek unsur pada bahan-bahan tertentu); 5.) Gelombang mikro (terdapat pada alat komunikasi, alat masak dan radar); 6.) Gelombang TV (komunikasi dan siaran); 7.) Gelombang radio (komunikasi, termasuk telephon dan *Handphone*).

Teori klasik terbentuk dari pengamatan-pengamatan yang bersifat makroskopik dengan mengasumsikan bahwa partikel dan gelombang merupakan pokok bahasan yang terpisah satu sama lain. Kegagalan awal teori klasik yaitu dalam menjelaskan spektrum radiasi termal dari suatu benda pada suhu yang sangat tinggi. Peristiwa ini biasa dikenal sebagai radiasi benda hitam. Selain itu teori gelombang klasik juga gagal menjelaskan peristiwa pemancaran elektron dari permukaan logam yang disinari cahaya (*efek fotolistrik*) dan hamburan cahaya oleh elektron-elektron

⁶Al-Qur'an Digital Surat Al-Qhashas ayat 71.

(*efek compton*).⁷ Pada dasarnya permasalahan tersebut hanya dapat diselesaikan dengan menganggap bahwa partikel dan gelombang memiliki sifat dualisme yang saling berkaitan satu sama lain.

Pada tahun 1924 Louis de Broglie mengajukan suatu hipotesis bahwa suatu partikel bergerak yang memiliki momentum p dapat berperilaku sebagai gelombang. Hal ini dicirikan dengan adanya panjang gelombang yang dikenal sebagai panjang gelombang dari suatu partikel.⁸ Difraksi partikel, seperti difraksi neutron dan difraksi elektron dapat juga dipakai sebagai penyidik karena menurut de broglie pada gerak partikel terdapat panjang gelombang partikel yang menyertainya, besarnya berbanding terbalik dengan momentumnya.⁹ Hal ini menjadi suatu teori baru dalam fisika yaitu mekanika kuantum yang termasuk dalam perkembangan fisika modern.

Albert Einstein kemudian pada tahun 1926 membuat postulat berdasarkan *efek fotolistrik*, bahwa cahaya tersusun dari kuantum yang disebut foton yang mempunyai sifat dualitas yang sama.¹⁰ Karya Albert Einstein dan Max Planck mendapatkan penghargaan Nobel masing-masing pada tahun 1921 dan 1918 dan menjadi dasar teori kuantum mekanik yang dikembangkan oleh banyak ilmuwan, termasuk Werner Heisenberg, Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Max Born, John von Neumann, Paul

⁷ Mirda Prisma Wijayanto, *Koreksi Order-2 Fungsi Gelombang Dan Energi Ion Lithium Dengan Pendekatan Teori Gangguan*, (Jember : Universitas Jember, 2016), hal 1.

⁸ Ayi Bahtiar, 'Fisika Modern : Definisi , Konsep Dan Aplikasinya', (Bandung : Universitas Padjajaran, 2007), hal 1.

⁹ Yuli Marhendra Kristianing, 'Analisis Struktur Atom Polikristal Grafit Dengan Metode Difraksi Elektron Menggunakan Tabung Difraksi Teltron 2555', (Surakarta : Universitas Sebelas Maret, 2007), hal 1.

¹⁰ Habib Sabil R Agus Sulistiyo, Arlien Siswanti, Fatkhur Rohman, Figur Humani, 'Menentukan Besarnya Gaya Kuantum Planck Dengan Metode Efek Fotolistrik', (Semarang : Universitas Diponegoro, 2017), hal 1.

Dirac, Wolfgang Pauli, David Hilbert, Roy J. Glauber dan lain-lain.¹¹ Ini salah satu bukti nyata bahwa perubahan dasar pemikiran manusia dapat berdampak pada perkembangan ilmu fisika seperti yang dijelaskan diatas.

Namun dari beberapa ilmuwan yang diatas ada beberapa pendapat mengenai pelopor munculnya fisika kuantum yang didasari dengan adanya teori dualisme cahaya. Dualisme cahaya pertama kali di cetuskan oleh Isaac Newton kemudian dilanjutkan oleh beberapa peneliti seperti Young dan Hertz, Max Planck, Einstein, Compton dan Louis de Broglie. Ada yg berpendapat bahwa pelopor dualisme cahaya yaitu Louis de Broglie sehingga muncullah fisika kuantum. Tetapi dalam perjalanannya Louis ketika itu tidak melakukan percobaan dan beliau adalah ilmuwan kesekian yang mencetuskan mengenai teori dualisme cahaya, sehingga dalam hal ini perlu dilakukan kajian khusus.

Dalam perkembangan fisika klasik dan modern, peranan matematika sangatlah menonjol. Dalam perkembangan teori Newton, matematika digunakan sebagai alat untuk membangun sebuah teori yang sederhana, namun dapat menjangkau sebanyak mungkin observasi fisis yang telah ditemukan secara terpisah.¹² Persamaan matematik mengisahkan hubungan antara dua kuantiti yang dijalin dengan satu jembatan yaitu simbol.

Di alam fizikal, persamaan matematik menjelaskan kepada kita fenomena-fenomena yang berlaku disekeliling kita. Banyak contoh-contoh ilmuwan fisika yang

¹¹ Dwi Purwanti, *Fisika Dasar II Buku Ajar Untuk Mahasiswa Teknik*, (Semarang : Universitas Negeri Semarang, 2010), hal 32.

¹² *Op.Cit.*, hal 39.

menggunakan persamaan matematis dalam mengembangkan teori-teori nya baik dalam perkembangan fisika klasik maupun fisika modern. Para ilmuwan mengkombinasikan antara ilmu alam dengan persamaan matematis sehingga menimbulkan persamaan yang sulit untuk dipahami.

Maka perlu pengkajian yang lebih mendalam agar dapat meningkatkan pemahaman mengenai hal tersebut.¹³ Kita tahu bahwa tingkat kemampuan seseorang tidak samakarena sebagian orang sulit memahami persamaan-persamaan matematis.¹⁴ Salah satu contohnya seperti persamaan Louis de Broglie mengenai gelombang dan partikel yang dapat dijelaskan dengan menggunakan suatu persamaan differensial parsial orde dua yang dikenal sebagai persamaan Schrodinger.¹⁵ Mengenai hal ini solusi yang tepat yaitu menganalisis teori tersebut sehingga mudah dipahami bagi semua kalangan. Berdasarkan uraian diatas, maka penulis merasa terdorong untuk mengkaji dan meneliti lebih lanjut mengenai persamaan Louis de Broglie mengenai gelombang sebagai partikel.

Pada penelitian persamaan Louis de Broglie mengenai gelombang sebagai partikel pada Prodi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Raden Intan Lampung, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumbangan penelitian dan referensi untuk menambah wawasan terhadap kajian

¹³ Antomi Saregar, 'Pembelajaran Pengantar Fisika Kuantum Dengan Memanfaatkan Media Phet Simulation Dan LKM Melalui Pendekatan Sains', (Vol 5, Issue 1, 2016), hal 53-54.

¹⁴ Lukhman Abdul Taib, 'Sejarah, Falsafah, Dan Perkembangan Persamaan Schrödinger: Satu Tinjauan Awal', (Malaysia : International Islamic University Malaysia, 2016), hal 1.

¹⁵ Hanifah Rahmayani, Hidayati and Pakhrul Razi, 'Perhitungan Tingkat Energi Sumur Potensial Keadaan Terikat Melalui Persamaan Schrodinger Menggunakan Metode Beda Hingga', (Bandung : Universitas Negeri Padjajaran, 2014), hal 17.

persamaan Louis de Broglie mengenai gelombang sebagai partikel. Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti tertarik untuk mengetengahkan sebuah tema kajian “ANALISIS PERSAMAAN LOUIS DE BROGLIE MENGENAI PARTIKEL SEBAGAI GELOMBANG”.

B. Fokus dan Subfokus Penelitian

1. Fokus Penelitian

Dengan adanya keterbatasan baik tenaga dan waktu supaya hasil penelitian lebih terfokus maka peneliti tidak akan melakukan penelitian terhadap keseluruhan yang ada pada objek atau situasi tertentu, tetapi peneliti perlu menentukan fokus penelitian. Adapun fokus dalam penelitian ini, adalah Sejarah perkembangan fisika kuantum hingga munculnya persamaan Louis de Broglie.

2. Subfokus Penelitian

Berdasarkan fokus penelitian diatas, maka peneliti perlu menentukan sub fokus penelitian agar dapat lebih efisien sehingga subfokus pada penelitian ini adalah konteks persamaan Louis de Broglie mengenai partikel sebagai gelombang.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana membuktikan persamaan Louis de Broglie mengenai partikel sebagai gelombang?

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini berkenaan dengan rumusan masalah yang telah dipaparkan oleh peneliti, yaitu membuktikan persamaan Louis de Broglie mengenai partikel sebagai gelombang.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Peneliti, dapat menambah wawasan, pengetahuan dan pengalaman tentang fisika kuantum khususnya aplikasi persamaan Louis de Broglie mengenai partikel sebagai gelombang.
2. Bagi pembaca, dapat dijadikan sebagai salah satu acuan dalam mempelajari fisika kuantum khususnya dalam pokok bahasan persamaan Louis de Broglie mengenai partikel sebagai gelombang.
3. Bagi Lembaga Pendidikan, dapat memberikan sumbangan penelitian dan bahan referensi tambahan dalam pembelajaran di perkuliahan fisika kuantum dengan pokok bahasan persamaan Louis de Broglie mengenai partikel sebagai gelombang.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Deskripsi Konseptual Fokus dan Subfokus Penelitian

1. Sejarah Berkembangnya Beberapa Hipotesis Sebelum Munculnya

Hipotesis Louis de Broglie

Perbedaan fisika modern yang mulai diperkenalkan pada awal abad ke 20 dengan fisika klasik yaitu fisika modern menyelidiki gejala-gejala pada skala ukuran yang sangat kecil (kira-kira 10^{-10} m) dan pada skala kecepatan yang sangat tinggi yaitu mendekati kecepatan cahaya $c = 3 \times 10^8$ m/s atau disebut juga pada kecepatan relativistik. Ternyata gejala-gejala pada skala atom tersebut dan penemuan tentang gelombang elektromagnetik serta sifat dualisme dari cahaya dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan berbagai bentuk teknologi baru seperti televisi, komputer, pengendali jarak jauh (*remote control*). Sel fotolistrik, laser, mesin roentgen, energi nuklir dan sebagainya yang kesemuanya tidak mungkin dapat ditemukan dan dibayangkan tanpa fisika modern.¹⁶

Perkembangan fisika modern akan berlanjut terus dan bahkan akan semakin kompleks, yang menuntut alternatif cara berpikir baru pula. Hal-hal baru tersebut khususnya mekanika kuantum maupun teori relativitas agak sukar

¹⁶ Purwanti.

dipahami karena pada umumnya siswa berkembang berdasarkan pengalaman sehari-hari yang menggunakan paradigma fisika klasik.¹⁷

Pada umumnya para mahasiswa, khususnya mahasiswa pendidikan fisika, mengalami kesulitan dalam mempelajari materi fisika modern karena pada pembelajaran sains yang selama ini diberikan konsep-konsep yang diajarkan diperoleh melalui pengalaman empiris sehari-hari, sementara konsep-konsep fisika modern tampak seolah-olah bertentangan dengan pengalaman sehari-hari para mahasiswa. Faktor lain yang juga menjadikan para mahasiswa sulit mempelajari fisika modern adalah sifat konsep-konsep fisika modern yang didominasi oleh konsep-konsep abstrak. Untuk memahami konsep-konsep abstrak tersebut tentu dibutuhkan penalaran yang tinggi.

Untuk dapat mencapai penalaran yang tinggi mahasiswa perlu dibiasakan dengan cara belajar yang menuntut penggunaan penalaran. Agar para mahasiswa memiliki pengalaman belajar seperti yang diharapkan, tentu diperlukan pendidik yang tidak hanya memahami materi fisika secara baik tetapi juga pendidik dituntut memahami dan mampu mengaplikasikan teori-teori pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik ilmu fisika. Karena itu untuk menunjang pembelajaran sains para mahasiswa khususnya sebagai calon guru perlu mempelajari dan menguasai tidak hanya fisika klasik tetapi juga fisika modern.

¹⁷ Kenneth krane, *Fisika Modern Terjemahan Hans J.Wospakrik* (Jakarta: Universitas Indonesia (UI Press), 2008), hal 3.

Menurut sejarah yang kita ketahui, sejak zaman kuno orang sebenarnya telah mulai memikirkan apakah sesuatu benda atau zat itu tersusun dari bagian-bagian terkecil yang tak terbagi lagi, ataukah zat itu dapat terus dibagi sampai tak ada hingganya. Jadi persoalan yang meliputi fikirannya ialah persoalan mengenai struktur materi yang dapat dirumuskan sebagai berikut : *“apakah materi itu dapat terus dibagi sampai tak ada hingganya, ataukah ia terdiri dari bagian zat terkecil yang tak dapat dibagi lagi, atau menurut istilah orang-orang Yunani tersusun dari atom-atom.”* Kedua pilihan ini merupakan dua pandangan yang berlawanan tentang struktur materi dan mempunyai pengajur-pengajurnya yang sama-sama mempertahankan pendirian mereka masing-masing secara filsafat.

Penyelidikan mengenai struktur materi dan penyusunan dasar-dasar teori atom secara ilmu pengetahuan kealaman sebenarnya telah dimulai sejak orang memperkembangkan ilmu kimia. Didalam ilmu kimia orang mulai membedakan molekul dari suatu persenyawaan dan atom dari suatu unsur. Molekul dikatakan tersusun atas atom-atom, dan dengan demikian ilmu kimia telah berhasil mengembalikan zat-zat yang beraneka macamnya di dunia ini menjadi atom-atom dari unsur-unsur yang hanya beberapa macam saja. Tetapi jauh sebelum itu, Boyle telah mengajukan suatu gagasan bahwa materi tersusun dari partikel-partikel yang berbeda secara kualitatif menurut unsurnya.¹⁸

¹⁸ A. Baiquni, *Fisika Modern* (Jakarta: Balai Pustaka, 2001), hal 3.

Fisika yang berkembang sampai akhir abad sembilan belas dikenal sebagai fisika klasik dan mempunyai dua cabang utama yaitu mekanika klasik Newtonian dan teori medan elektromagnetik Maxwellian. Mekanika klasik dikenal dengan nama Newtonian karena pada masa itu Newton memformulasikan untuk pertama kalinya. Kemudian dari formula Newton dikembangkan oleh Lagrange, Hamilton dan lain – lainnya yang pada saat itu sukses menjelaskan gerak dinamis benda-benda mikroskopis.¹⁹

Mekanika klasik dicirikan oleh kehadiran partikel sebagai sesuatu yang *terkurung* di dalam ruang. Istilah terkurung secara sederhana dapat dikatakan sebagai adanya batas yang jelas antara materi dan sesuatu diluar dirinya atau lingkungannya. Sedangkan medan elektromagnetik dicirikan oleh kualitas medan dari gelombang yang menyebar didalam ruang.²⁰

Pandangan paham Newton tentang alam telah memberi suatu kerangka nalar dasar yang membantu kita memahami sejumlah besar gejala alam. Pandangan tentang alam ini, yang sebenarnya berasal dari Galileo, mengatakan bahwa ruang dan waktu adalah mutlak. Juga dikemukakan bahwa setiap percobaan serupa yang dilakukan dalam kerangka acuan (pengamatan) kita barulah bermakna fisika apabila dikaitkan dengan percobaan serupa yang dilakukan dalam kerangka acuan mutlak, yaitu suatu sistem koordinat Kartesius semesta yang padanya tercantelkan jam-jam mutlak. Sebagai contoh, pernyataan

¹⁹ Rustam E. Siregar, *Teori Dan Aplikasi Fisika Kuantum* (Bandung: Widya Padjajaran, 2010), hal 1.

²⁰ Agus Purwanto, *Fisika Kuantum* (Yogyakarta: Gava Media, 2005), hal 1.

yang lazim dikenal sebagai asas kelembaman (inersia) Galileo, mengatakan bahwa sebuah benda yang diam cenderung diam kecuali jika padanya dikenakan gaya luar.²¹

Dalam fisika klasik, sebelum efek foto listrik berhasil dirumuskan, orang-orang berkeyakinan bahwa sekali sesuatu itu dikenal sebagai gelombang maka selamanya ia tetap sebagai gelombang. Begitu juga sebaliknya, sekali dikenal sebagai partikel maka tetap selamanya sebagai partikel. Tetapi kenyataannya berbeda setelah berhasil dirumuskannya dualisme cahaya, yaitu cahaya sebagai gelombang dan cahaya sebagai partikel. Pernyataan itu mengisyaratkan kepada kita untuk meninjau kembali penggolongan partikel dengan gelombang.

Gejala gelombang secara umum dapat kita definisikan sebagai rambatan gangguan periodik melalui suatu zat perantara. Dengan cara apakah perambatan gelombang ini berlangsung, bergantung pada gaya-gaya yang bekerja antar partikel zat perantaranya. Oleh karena itu, tidaklah mengherankan mengapa segera setelah Maxwell memperlihatkan bahwa persamaan elektromagnet klasik, para fisikawan segera melakukan berbagai upaya untuk mempelajari sifat zat perantara yang berperan bagi perambatan gelombang elektromagnet ini. Zat perantara ini disebut *eter*. Namun karena zat ini belum pernah teramati dalam percobaan, maka dipostulatkan bahwa ia tidak bermassa dan tidak tampak, tapi

²¹Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 24.

mengisi seluruh ruang, dan fungsi satu-satunya hanyalah untuk merambatkan gelombang elektromagnetik.²²

Pada tahun 1887, Albert A. Michelson (1852-1931) dan Edward W. Morley (1838-1932) mencoba mengukur kecepatan aliran eter dengan menggunakan interferometer optis yang sangat peka yang dikenal dengan interferometer Michelson, bila memang eter tersebut benar-benar ada. Berdasarkan hasil pengamatan ternyata tidak terjadi pergeseran pola interferensi.²³ Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kecepatan cahaya besarnya tetap tidak bergantung pada kerangka pengamatannya. Hasil ini menunjukkan bahwa eter yang berfungsi untuk merambatkan cahaya dan gelombang elektromagnetik lainnya tidak ada. Sebab seandainya ia ada maka harus mempunyai kecepatan relatif V terhadap matahari dan bintang lainnya sebesar 30 km/s sehingga pola pergeseran interferensi akan teramati pada detektor.

Untuk mengatasi permasalahan yang muncul dalam percobaan Michelson-Morley, Einstein pada tahun 1905 mengajukan dua postulat sebagai berikut :

- a) Asas relativitas : hukum – hukum fisika mempunyai bentuk yang sama didalam setiap kerangka acuan inersial.

²²Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 27-28.

²³ Dadan Rosana, Sukardiyono dan Supriyadi, 'Konsep Dasar Fisika Modern', (Yogyakarta ; Universitas Negeri Yogyakarta, 2000), hal 4-5.

- b) Ketidakubahan laju cahaya : laju cahaya mempunyai nilai yang sama di semua kerangka inersial, tidak bergantung dari gerak sumber maupun pengamatnya.

Postulat tersebut yang kemudian dikenal dengan Teori Relativitas Khusus. Teori relativitas khusus ini cocok dengan eksperimen dan belum pernah ditemukan keberatan secara eksperimen terhadap teori ini.²⁴

Sifat gelombang yang membuatnya sebagai gejala yang unik adalah *prinsip superposisi*. Sebagai contoh, sifat ini memungkinkan dua gelombang yang bertemu disebuah titik menghasilkan gangguan gabungan dititik itu. Gangguan ini lebih besar atau lebih kecil daripada gangguan yang dihasilkan masing-masing gelombang dari panduan gelombang yang terpancarkan dari titik “tumbukan” itu sama sekali tidak mengalami perubahan karena tumbukan itu.²⁵ Sifat gelombang yang penting dan istimewa ini menghasilkan gejala interferensi dan difraksi. Contoh gejala interferensi yang paling sederhana dan telah lazim dikenal adalah percobaan dua celah Young.

Suatu muka gelombang bidang melewati dua celah pada sebuah penghalang. Gelombang yang dilenturkan pada kedua celah itu kemudian menghasilkan interferensi pada layar, dimana gelombang-gelombang yang dilenturkan bertumpang tindih. Suatu gelombang bidang monokromatik dijatuhkan pada suatu penghalang yang mempunyai dua irisan celah. Percobaan

²⁴*Ibid*, hal 6.

²⁵Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 80.

ini pertama kali dilakukan dengan menggunakan cahaya tampak, tetapi sebenarnya gelombang apapun dapat digunakan, tidak hanya gelombang elektromagnet lain, seperti gelombang mikro, tetapi gelombang mekanik, seperti gelombang air atau gelombang bunyi.²⁶

Studi mengenai cahaya dimulai dengan munculnya era optika klasik yang mempelajari besaran optik seperti: intensitas, frekuensi atau panjang gelombang, polarisasi dan fasa cahaya. Sifat-sifat cahaya dan interaksinya terhadap sekitar dilakukan dengan pendekatan paraksial geometris seperti refleksi dan refraksi, dan pendekatan sifat optik fisisnya yaitu: interferensi, difraksi, dispersi, polarisasi. Masing-masing studi optika klasik ini disebut dengan optika geometris (*en:geometrical optics*) dan optika fisis (*en:physical optics*).²⁷

Pada puncak optika klasik, cahaya didefinisikan sebagai gelombang elektromagnetik dan memicu serangkaian penemuan dan pemikiran, sejak tahun 1838 oleh Michael Faraday dengan penemuan sinar katoda, tahun 1859 dengan teori radiasi massa hitam oleh Gustav Kirchhoff, tahun 1877 Ludwig Boltzmann mengatakan bahwa status energi sistem fisik dapat menjadi diskrit, teori kuantum sebagai model dari teori radiasi massa hitam oleh Max Planck pada tahun 1899 dengan hipotesa bahwa energi yang teradiasi dan terserap dapat terbagi menjadi jumlahan diskrit yang disebut elemen energi, E .²⁸ Teori kuantum dari Max Plank

²⁶*Ibid.*

²⁷Dwi Purwanti, *Op. Cit*, hal 31.

²⁸Kenneth Krane, *Op. Cit*, hal 95.

mencoba menerangkan radiasi karakteristik yang dipancarkan oleh benda hitam. Radiasi inilah yang menunjukkan sifat partikel dari gelombang.²⁹

Pada tahun 1900 ketika Planck untuk pertama kalinya menyatakan pendapatnya bahwa sesuatu osilator yang frekuensinya ν hanya dapat mempunyai tenaga sebesar suatu kelipatan dari kuantum elementer :

$$\epsilon = h\nu$$

Bilangan h yang besarnya sama dengan $6,625 \cdot 10^{-27}$ erg sek dan kemudian dinamakan konstanta Planck itu merupakan bilangan karakteristik yang memisahkan teori fisika modern dari teori-teori fisika yang telah terbentuk sebelumnya yang kini lazim disebut teori klasik. Teori kuantum telah disarankan oleh Planck karena teori klasik gagal memberikan keterangan mengenai peralihan tenaga dalam spektrum yang dipancarkan oleh benda-benda hitam.³⁰

Benda hitam didefinisikan sebagai benda atau sesuatu yang menyerap semua radiasi yang diterimanya. Hasil eksperimen tersebut untuk temperatur berbeda.³¹ Kita menamakan suatu benda sebuah benda yang bersifat hitam sempurna apabila semua sinar atau tenaga radiasi yang jatuh padanya diserap seluruhnya. Ia mempunyai koefisien refleksi nol. Dalam praktek sukar sekali bagi kita untuk menemukan suatu benda yang hitam sempurna. Jelaga misalnya masih mempunyai daya pemantulan meskipun kecil sekali. Suatu lubang yang

²⁹ Ayi Bahtiar, *Loc.Cit*, hal 1.

³⁰ A. Baiquni, "*Fisika Modern*", (Jakarta : Balai Pustaka, 2001), hal 26.

³¹ Agus Purwanto, *Op.Cit*, hal 4.

kecil dalam dinding sebuah rongga dapat diambil sebagai contoh bagi suatu benda yang boleh dikatakan hitam sempurna.³²

Radiasi yang dipancarkan benda biasa tidak hanya bergantung pada suhu, tetapi juga pada sifat-sifat lainnya, seperti rupa benda, sifat permukaannya, dan bahan pembuatnya. Radiasi nya juga tergantung pada apakah ia memantulkan atau tidak memantulkan radiasi dari lingkungan sekitar yang jatuh padanya. Untuk menghilangkan beberapa hambatan ini, kita tidak akan meninjau benda biasa, melainkan yang permukaannya sama sekali hitam (benda hitam). Jika sebuah benda sama sekali hitam, maka cahaya yang jatuh padanya tidak ada yang ia pantulkan sehingga sifat-sifat permukaannya dengan demikian tidak dapat diamati.³³

Untuk mengatasi kesulitan analisa klasik, digunakan fakta bahwa gelombang elektromagnetik yang merupakan radiasi didalam rongga (sebagai realisasi praktis konsep benda hitam) dapat dianalisa sebagai superposisi dari karakteristik moda normal rongga. Dalam setiap moda normal, medan bervariasi secara harmonik. Dengan demikian, setiap moda normal ekuivalen dengan osilator harmonik dan radiasi membentuk ensembel osilator harmonik.³⁴

Pada tahun 1905, Albert Einstein mengkonfirmasi hipotesa yang dikemukakan oleh Max Planck. Berdasarkan pemahaman diatas, Max Planck mengajukan hipotesis radikal sebagai berikut :

³²A. Baiquni, *Op.Cit*, hal 26.

³³Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 91.

³⁴Agus Purwanto, *Op.Cit*, hal 5.

- a) Osilator didalam benda hitam tidak memancarkan cahaya secara kontinu melainkan hanya berubah amplitudonya transisi amplitudo besar ke kecil menghasilkan emisi cahaya sedangkan transisi dari amplitudo kecil ke besar dihasilkan dari absorpsi cahaya.
- b) Osilator hanya bisa memancarkan atau menyerap energi dalam suatu energi yang disebut kuantum sebesar $h\nu$, dengan ν adalah frekuensi dan h adalah konstanta Planck.

Perangkat teori yang menggambarkan cahaya bukan sebagai gelombang tersedia melalui konsep energi diskrit atau terkuantisasi yang dikembangkan oleh Planck dan terbukti sesuai untuk menjelaskan spektrum radiasi kalor benda hitam. Konsep energi yang terkuantisasi ini digunakan oleh Einstein untuk menjelaskan terjadinya efek fotolistrik.

Efek fotolistrik diketahui untuk pertama kalinya oleh Hertz pada tahun 1887 dengan mengamati peningkatan discharge dari elektroda logam ketika disinari dengan cahaya ultraviolet lama sebelum ditemukannya elektron.³⁵ Ia pada waktu itu sebenarnya sedang mengadakan percobaan mengenai gelombang elektromagnetik yang secara teori telah diramalkan adanya oleh Maxwell. Pada efek fotolistrik, permukaan sebuah logam disinari dengan seberkas cahaya, dan sejumlah elektron terpancar dari permukaannya. Dalam studi eksperimental terhadap efek fotolistrik, kita mengukur bagaimana laju dan energi kinetik elektron yang terpancar bergantung pada intensitas dan panjang gelombang

³⁵Rustam E. Siregar, Op.Cit, hal 3.

sumber cahaya. Percobaan ini harus dilakukan dalam ruang hampa, agar elektron tidak kehilangan energinya karena bertumbukan dengan molekul-molekul udara.

Ia menimbulkan gelombang – gelombang itu dengan lucutan – lucutan listrik diantara dua buah kutub dan ingin melihat apakah suatu sistem lain, yang disetel beresonansi dengan sistem yang pertama itu, dapat menimbulkan loncatan-loncatan lucutan listrik juga pada kutub – kutubnya. Loncatan resonansi ternyata mudah sekali timbul apabila cahaya dari lucutan – lucutan sistem yang pertama dapat mengenai kutub – kutub sistem yang beresonansi itu. Penemuan yang tidak terduga-duga ini menarik banyak sekali perhatian dari para penyelidik ilmiah lainnya.³⁶

Percobaan Hertz yang dimaksud adalah dilakukannya eksperimen penyinaran plat katoda dengan aneka cahaya dan sebagai hasilnya elektron – elektron dipancarkan dari pelat katoda. Di sini, cahaya dipandang sebagai kuantum energi yang hanya memiliki energi yang diskrit bukan *continue* yang dinyatakan sebagai

$$E = hv^{37}$$

Konsep penting yang dikemukakan Einstein sebagai latar belakang terjadinya efek fotolistrik adalah bahwa satu elektron menyerap satu kuantum energi. Satu kuantum energi yang diserap elektron digunakan untuk lepas dari

³⁶A. Baiquni, *Op.Cit*, hal 64.

³⁷Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 99.

logam dan untuk bergerak ke pelat logam yang lain. Hal ini dapat dituliskan sebagai

Energi cahaya = Energi ambang + Energi kinetik maksimum elektron

$$E = W_0 + E_{km}$$

$$hf = hf_0 + E_{km}$$

$$E_{km} = hf - hf_0$$

Persamaan ini disebut **persamaan efek fotolistrik Einstein**. Perlu diperhatikan bahwa W_0 adalah energi ambang logam atau fungsi kerja logam, f_0 adalah frekuensi ambang logam, f adalah frekuensi cahaya yang digunakan, dan E_{km} adalah energi kinetik maksimum elektron yang lepas dari logam dan bergerak ke pelat logam yang lain.³⁸ Dalam bentuk lain persamaan efek fotolistrik dapat ditulis sebagai

$$\frac{1}{2}mv_e^2 = hf - hf_0$$

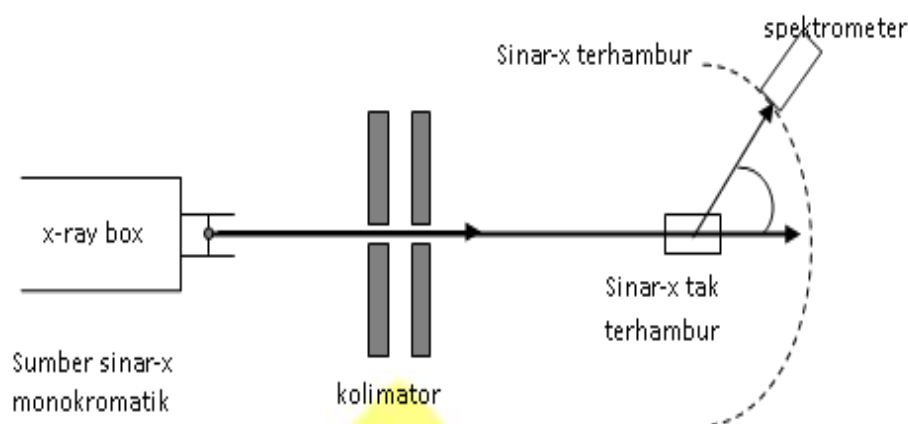
Dimana m adalah massa elektron dan v_e adalah dan kecepatan elektron. Satuan energi dalam SI adalah joule (J) dan frekuensi adalah hertz (Hz). Tetapi, fungsi kerja logam biasanya dinyatakan dalam satuan elektron volt (eV) sehingga perlu diingat bahwa $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Dari percobaan tersebut, kita dapat mempelajari fakta-fakta terinci efek fotolistrik sebagai berikut :

³⁸*Ibid*, hal 97.

- a) Laju pemancaran elektron bergantung pada intensitas cahaya.
- b) Laju pemancaran elektron tak bergantung pada panjang gelombang cahaya dibawah suatu panjang gelombang tertentu.
- c) Nilai λ_c (panjang gelombang pancung) tidak bergantung pada intensitas cahaya, tetapi hanya bergantung pada jenis logam yang digunakan sebagai permukaan fotosensitif. Dibawahnya sebarang sumber cahaya, selemah apapun akan menyebabkan terjadinya pemancaran fotoelektron. Sedangkan diatasnya tidak satu pun cahaya, sekuat apapun, dapat menyebabkan terjadinya pemancaran fotoelektron.
- d) Energi kinetik maksimum elektron yang dipancarkan tidak bergantung pada intensitas cahaya, tetapi hanyalah bergantung pada panjang gelombangnya. Energi kinetik ini didapati bertambah secara linier terhadap frekuensi sumber cahaya.

Hipotesa Einstein ini dikonfirmasi oleh Arthur H.Compton melalui eksperimen hamburan Compton pada tahun 1923.³⁹

³⁹Dies Natalis XVIII, *Op.Cit*, hal 35.



Gambar. 2.1 Bagan Percobaan Efek Compton

Cara lain radiasi berinteraksi dengan atom adalah melalui efek Compton, dalam mana radiasi dihamburkan oleh elektron hampir bebas yang terikat lemah pada atomnya. Sebagian energi radiasi diberikan kepada elektron, sehingga terlepas dari atom. Energi yang sisa diradiasikan kembali sebagai radiasi elektromagnet. Menurut gambaran gelombang, energi radiasi yang dipancarkan itu lebih kecil daripada energi radiasi yang datang (selisihnya berubah menjadi energi kinetik elektron), namun panjang gelombang keduanya tetap sama. Proses hamburan ini dianalisis sebagai suatu interaksi (“tumbukan” dalam pengertian partikel secara klasik) antara sebuah foton dan sebuah elektron, yang kita anggap diam.⁴⁰

Efek Compton merupakan sebuah nama yang diusulkan oleh penemunya yaitu **Arthur Holly Compton** setelah menerima hadiah

⁴⁰Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 104.

Nobel pada tahun 1927 di Amerika Serikat. Hasil penelitian Compton ini, bertentangan dengan teori gelombang klasik yang menyatakan bahwa panjang gelombang sinar elektromagnetik akan bersifat tetap untuk semua medium. Compton melakukan eksperimen dengan menembakkan berkas sinar X dengan panjang gelombang λ ke arah target yang terbuat dari karbon.⁴¹

Sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik dengan tingkat frekuensi tertinggi ke-2 setelah sinar gamma. Ketika sinar X mengenai target karbon, maka sinar X tersebut akan terhambur dengan sudut hambur ϕ , lalu hamburan tersebut akan ditangkap oleh detektor untuk dianalisis hasilnya. Compton mengukur panjang gelombang dan intensitas sinar X yang terhambur dari berbagai arah dengan menempatkan beberapa detektor. Hasil percobaan Compton menunjukkan bahwa panjang gelombang hamburan sinar X lebih besar dibandingkan panjang gelombang awal yang ditembakkan.

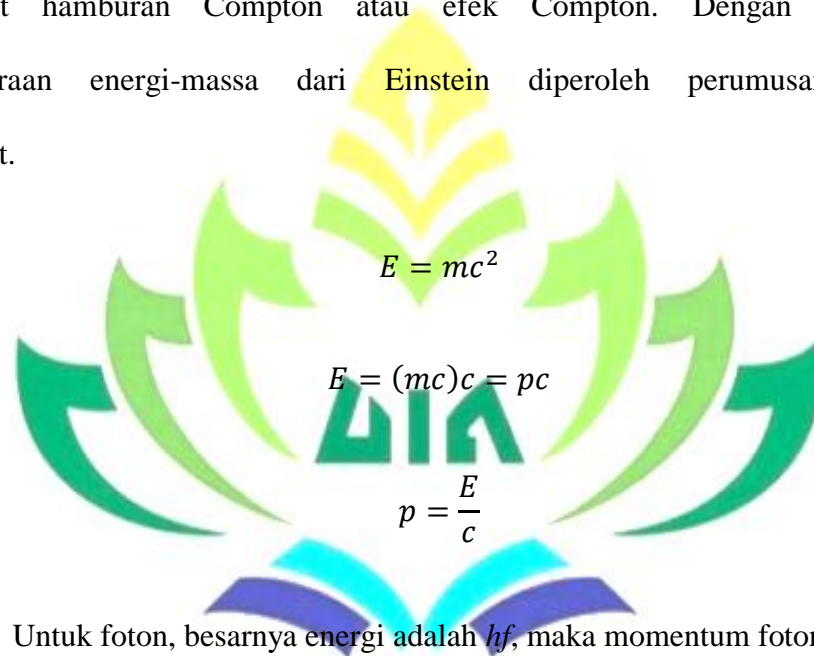
Dari percobaan sinar X, menurut teori elektromagnetik, intensitas cahaya terhambur oleh elektron akan bergantung sudut hamburan dan tidak bergantung panjang gelombang cahaya datang.⁴² Hal ini tentu bertentangan dengan teori gelombang klasik. Untuk menjelaskan adanya fenomena tersebut, Compton menganggap bahwa foton merupakan

⁴¹*Ibid*

⁴²Agus Purwanto, *Op.Cit*, hal 16.

materi yang dapat memindahkan momentum dan energi. Sebagai materi, foton memiliki momentum (p) dan berlaku hukum kekekalan momentum di dalamnya.

Berikut ini contoh penggambaran antara panjang gelombang datang dan panjang gelombang hamburan. Hamburan tersebut yang biasa disebut hamburan Compton atau efek Compton. Dengan persamaan kesetaraan energi-massa dari Einstein diperoleh perumusan sebagai berikut.



Untuk foton, besarnya energi adalah hf , maka momentum foton adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}^{43}$$

Keterangan:

h = konstanta Planck yang nilainya $6,63 \times 10^{-34}$ J.s;⁴⁴

⁴³Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 104.

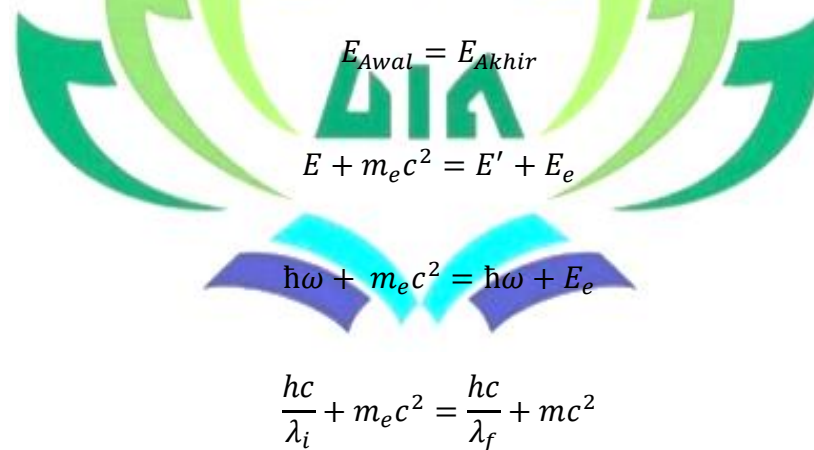
⁴⁴*Ibid*, hal 102.

f = frekuensi foton;

c = cepat rambat cahaya; dan

λ = panjang gelombang foton.

Pada tumbukan antara foton dan elektron berlaku Hukum kekekalan berlaku pada foton, elektron, dan energi kinetik.⁴⁵ Dalam Hukum Kekekalan energi merupakan jumlah energi yang datang dan energi elektron diam sama dengan jumlah antara energi foton yang dihamburkan dengan energi elektron yang terpental. Berdasarkan hukum kekekalan momentum diperoleh persamaan berikut.


$$E_{Awal} = E_{Akhir}$$
$$E + m_e c^2 = E' + E_e$$
$$\hbar\omega + m_e c^2 = \hbar\omega + E_e$$
$$\frac{hc}{\lambda_i} + m_e c^2 = \frac{hc}{\lambda_f} + m_e c^2$$

Dan hukum kekekalan momentum yaitu

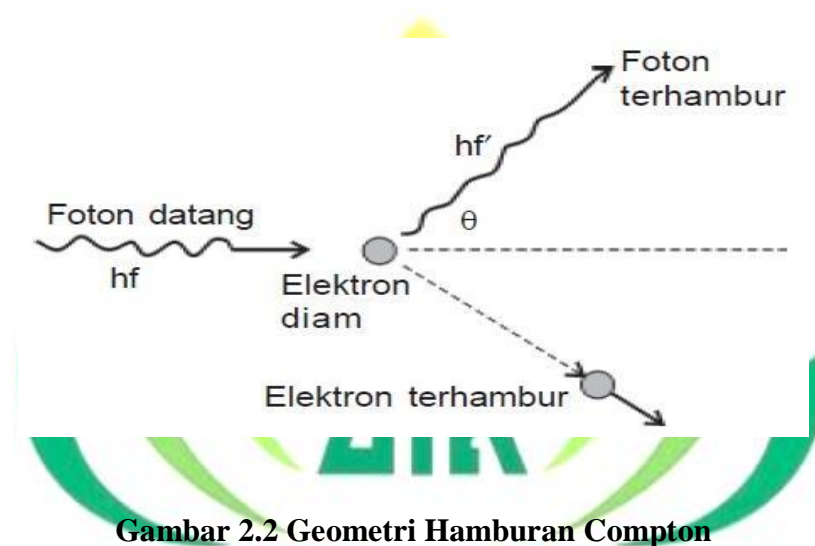
$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} + \vec{p}$$

⁴⁵ Suparmi and Cari, *Mekanika Kuantum Penyelesaian Persamaan Schrodingers Dengan Supersimetri Dan Fungsi-Fungsi Khusus* (Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret, 2012), hal 11.

Karena elektron bergerak secara relativistik maka persamaan energi relativistik pada elektron dinyatakan sebagai

$$E^2 = m^2 c^4 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

Berikut ini skema interaksi antara foton dengan elektron pada efek Compton



Gambar 2.2 Geometri Hamburan Compton

Hubungan antara sudut hamburan θ dengan pergeseran frekuensi atau panjang gelombang dapat diperoleh dari persamaan diatas kemudian diuraikan ke dalam kelompok paralel dan tegak lurus yaitu

$$\frac{h}{\lambda_i} = \frac{h}{\lambda_f} \cos \theta + p \cos \phi$$

Dan

$$0 = -\frac{h}{\lambda_f} \sin \theta + p \sin \theta$$

Bila masing-masing dikuadratkan dan kemudian dijumlahkan maka diperoleh

$$\frac{h^2}{\lambda_i^2} - 2 \frac{h^2}{\lambda_i \lambda_f} \cos \theta + \frac{h^2}{\lambda_f^2} \cos^2 \theta = p^2 \cos^2 \theta$$

$$\frac{\frac{h^2}{\lambda_f^2} \sin^2 \theta = p^2 \sin^2 \theta}{\hline} +$$

$$\frac{h^2}{\lambda_i^2} - 2 \frac{h^2}{\lambda_i \lambda_f} \cos \theta + \frac{h^2}{\lambda_f^2} = p^2$$

Jika persamaan tersebut dikuadratkan diperoleh

$$\frac{h^2 c^2}{\lambda_i^2} + \frac{h^2 c^2}{\lambda_f^2} + m_0^2 c^4 + 2 \frac{hc}{\lambda_i} m_0 c^2 - 2 \frac{hc}{\lambda_f} m_0 c^2 - 2 \frac{h^2 c^2}{\lambda_f \lambda_i} = m^2 c^2$$

Atau

$$\frac{h^2 c^2}{\lambda_f^2} + \frac{h^2 c^2}{\lambda_i^2} + 2 \frac{hc}{\lambda_i} m_0 c^2 - 2 \frac{hc}{\lambda_f} m_0 c^2 - 2 \frac{h^2 c^2}{\lambda_f \lambda_i} = p^2 c^2$$

Dan jika persamaan p^2 dikalikan dengan c^2 maka diperoleh

$$\frac{h^2 c^2}{\lambda_i^2} - 2 \frac{h^2 c^2}{\lambda_f \lambda_i} \cos \theta + \frac{h^2 c^2}{\lambda_f^2} = p^2 c^2$$

Dengan mengkombinasikan persamaan keduanya maka diperoleh

$$2 \frac{hc}{\lambda_i} m_0 c^2 - 2 \frac{hc}{\lambda_f} m_0 c^2 - 2 \frac{h^2 c^2}{\lambda_f \lambda_i} + 2 \frac{h^2 c^2}{\lambda_i \lambda_f} \cos \theta = 0$$

Atau

$$\frac{m_0 c}{\lambda_i \lambda_f} (\lambda_f - \lambda_i) = \frac{h}{\lambda_f \lambda_i} (1 - \cos \theta)$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)^{46}$$

Persamaan di atas disebut persamaan pergeseran Compton dengan keterangan $\lambda' - \lambda = \Delta\lambda$ dengan λ' adalah panjang gelombang foton setelah tumbukan, λ adalah panjang gelombang foton sebelum tumbukan. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa perubahan panjang gelombang antara foton yang datang dan yang dihamburkan hanya tergantung pada sudut hamburan θ . Namun sebenarnya sudut hamburan θ tergantung pada panjang gelombang sinar datang. Selama proses tumbukan, sebagian energi foton hilang sehingga foton yang terhambur panjang gelombangnya membesar. Faktor $\frac{h}{m_0 c}$ disebut panjang

⁴⁶Suparmi, Cari, *Op.Cit*, hal 106.

gelombang foton yang terhambur atau panjang gelombang Compton λ_e , dari sebuah partikel dengan massa diam m_0 , dalam hal ini adalah elektron.

2. Persamaan Louis de Broglie mengenai Partikel sebagai Gelombang

Pada tahun 1924 dengan mempertimbangkan sifat simetri dari alam, Louis de Broglie mengajukan hipotesis bahwa partikel (seharusnya) mempunyai gelombang.⁴⁷ Sehingga ia mengemukakan bahwa sifat dualisme yang dimiliki cahaya juga dimiliki oleh partikel yang bermassa.⁴⁸ Ciri perkembangan fisika biasanya ditandai dengan periode panjang pekerjaan eksperimen dan teori tidak memuaskan yang kadang-kadang diselingi oleh cetusan berbagai gagasan mendalam yang menyebabkan perubahan mencolok dalam cara kita memandang alam semesta.⁴⁹ Contohnya seperti hipotesis-hipotesis diatas yang berurutan dari munculnya hipotesis Max Planck, efek fotolistrik dari Arbert Einstein, Efek Compton hingga munculnya hipotesis dari Louis de Broglie yang membahas mengenai gelombang dan partikel.

Louis de Broglie berpendapat bahwa partikel yang bermassa seharusnya juga mempunyai gelombang.⁵⁰ Dalam artian partikel yang bermassa juga memiliki sifat sebagaimana yang ditunjukkan oleh foton yaitu dapat bersifat

⁴⁷Agus Purwanto, *Op.Cit*, hal 20.

⁴⁸Hanifah Rahmayani, dkk, *Perhitungan Tingkat Energi Sumur Potensial Keadaan Terikat Melalui Persamaan Schrodinger Menggunakan Metode Beda Hingga*, Vol 1 (Bandung : Universitas Negeri Padjajaran, 2014), hal 17.

⁴⁹Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 125

⁵⁰Agus Purwanto, *Op.Cit*, hal 20.

sebagai gelombang dan juga sebagai partikel. Dualisme yang dikemukakan oleh de Broglie ini merupakan titik pangkal dari perkembangan mekanika kuantum.

Hipotesis de Broglie mengatakan, gelombang materi semestinya berbentuk gelombang monokromatis dengan panjang gelombang $\lambda = h/p$ dan frekuensi $\nu = E/h$.⁵¹ Dapat disimpulkan bahwa gelombang materi tidak mungkin berupa gelombang monokromatis karena gelombang monokromatis menyebar ke seluruh ruangan sedangkan gelombang materi harus dapat mendeskripsikan partikel.⁵² Selain itu, dalam Al-Qur'an telah dijelaskan mengenai dualisme gelombang yang terdapat dalam surat Al-Baqarah ayat 20 :

يَكَادُ الْبَرْقُ يَخْطَفُ أَبْصَارَهُمْ كُلَّمَا أَضَاءَ لَهُمْ مَشَوْا فِيهِ وَإِذَا أَظْلَمَ عَلَيْهِمْ قَامُوا وَلَوْ شَاءَ اللَّهُ لَذَهَبَ بِسَمْعِهِمْ وَأَبْصَارِهِمْ إِنَّ اللَّهَ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ
٢٠

Artinya : “ Hampir – hampir kilat itu menyambar penglihatan mereka. Setiap kali kilat itu menyinari mereka, mereka berjalan dibawah sinar itu, dan bila gelap menimpa mereka, mereka berhenti. Jikalau Allah menghendaki, niscaya Dia melenyapkan pendengaran dan penglihatan mereka. Sesungguhnya Allah berkuasa atas segala sesuatu” (Qs. Al – Baqarah : 20)⁵³

Dari isi kandungan diatas dapatlah diketahui bahwa Allah swt menciptakan pendengaran dan penglihatan agar kita dapat melihat dan mendengar kekuasaan Nya. Salah satunya yaitu kilat dan petir yang telah disinggung dalam ayat tersebut. Sifat partikel dan gelombang suatu materi tidak tampak sekaligus, sifat yang tampak jelas tergantung pada perbandingan panjang

⁵¹Kenneth Krane, *Op.Cit*, hal 126.

⁵²Hanifah Rahmayani, *Loc. Cit*, hal 17.

⁵³Al – Qur'an Digital Surat Al – Baqarah ayat 20.

gelombang de Broglie dengan dimensinya serta dimensi sesuatu yang berinteraksi dengannya. Partikel yang bergerak memiliki sifat gelombang. Fakta yang mendukung teori ini adalah petir dan kilat. Kilat akan lebih dulu terjadi daripada petir. Kilat menunjukkan sifat gelombang berbentuk cahaya, sedangkan petir menunjukkan sifat partikel berbentuk suara.

Berikut skema kaitan antara partikel dan gelombang dapat dinyatakan sebagai berikut :



Sehingga terjadi hubungan yang simetris antara gelombang dan partikel

Artinya, gelombang dapat bersifat sebagai partikel dan sebaliknya partikel dapat bersifat sebagai gelombang.

B. Hasil Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian terdahulu yang dapat dijadikan acuan adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dari Antomi Saregar yang meneliti mengenai Analisis Spektrum dan Fungsi Gelombang Potensial Non-Centra Menggunakan Super Simetri Mekanika Kuantum. Penelitian ini mendeskripsikan hasil fungsi gelombang

dan energi dari sistem potensial Non sentral hasil kombinasi potensial Poschl-Teller trigonometri plus potensial Rosen Morse, Coloumb, dan OH 3D, serta potensial Rosen Morse trigonometri plus Pochl-Teller yang dianalisis menggunakan metode Supersymmetry mekanika kuantum dan mengetahui visualisasi dari fungsi gelombang dan tingkat energi sistem potensial Non sentral hasil kombinasi potensial Poschl-Teller trigonometri plus potensial Rosen Morse, Coloumb, dan OH 3D, serta potensial Rosen Morse trigonometri plus Pochl-Teller.⁵⁴

2. Penelitian dari Mirda Prisma Wijayanto yang meneliti mengenai Koreksi Orde-2 Fungsi Gelombang dan Energi Ion Lithium dengan Pendekatan Teori Gangguan. Penelitian pengembangan non eksperimen pada bidang fisika teori berupa pengembangan teori mekanika kuantum. Teori fisika yang dikembangkan adalah penentuan fungsi gelombang dan energi atom berelektron tunggal dengan pendekatan teori gangguan. Untuk fungsi gelombang ion Lithium menggunakan pendekatan persamaan Schrodinger. Persamaan Schrodinger merupakan persamaan differensial parsial orde dua yang digunakan untuk menganalisis teori dualisme gelombang dari persamaan Louis de Broglie. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu dapat diketahui

⁵⁴Antomi Saregar, 'Analisis Spektrum dan Fungsi Gelombang Potensial Non-Centra Menggunakan Super Simetri Mekanika Kuantum', *Jurnal ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, Vol 04, No 2(2015), pp 193-203, hal 11.

adanya gangguan medanelektrostatik mengakibatkan elektron mengalami eksitasi menuju tingkat bilangan kuantum yang lebih tinggi.⁵⁵

3. Penelitian dari Oking Leonata Yusuf dan Sugeng Sutiarto yang membahas tentang *Problem Solving* dalam Pembelajaran Fisika. Penelitian ini adalah penelitian studi pustaka yang merupakan telaah dari literatur. Problem solving merupakan suatu alternatif bagi pembelajaran matematika. Kegiatan belajar mengajar dalam proses *problem solving* matematika dapat melatih siswa menemukan berbagai alternatif penyelesaian permasalahan dan mengembangkan pemikiran siswa. Sehingga dapat berdampak positif bagi siswa dalam proses mendapatkan hasil yang berkualitas.⁵⁶
4. Penelitian dari Muhammad Irfan yang membahas tentang Analisis Kesalahan Siswa dalam Pemecahan Masalah Berdasarkan Kecemasan Belajar Matematika. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan metode studi kasus. Pengambilan sampel digunakan dengan menggunakan teknik *purposive sampling*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa yang mengalami kecemasan matematika tinggi mampu menyelesaikan permasalahan matematika sesuai langkah-langkah Polya. Namun, ia mengalami kesalahan dalam tiga hal, yaitu kesalahan penulisan simbol-simbol

⁵⁵ Mirda Prisma Wijayanto, *Koreksi Orde-2 Fungsi Gelombang dan Energi Ion Lithium dengan Pendekatan Teori Gangguan*, (Jember : Universitas Jember, 2016), hal 123.

⁵⁶ Oking Leonata Yusuf, 'Problem Solving dalam Pembelajaran Matematika', Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika 2017.

matematika, pemaknaan model matematika, dan ketidak kosistenan dalam menggunakan simbol.⁵⁷

5. Penelitian dari Vladimir K. Nevolin yang membahas tentang *Hydrogen Atoms Based on the Hypothesis Louis de Broglie*. Penelitian ini dilakukan di Universitas Riset Nasional Teknologi Elektronik Moscow, Rusia. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan cara memanaskan titanium berpori jenuh dengan hidrogen (deutrium). Sehingga dapat disimpulkan bahwa keberadaan atom – atom hidrogen didalam sistem titanium berpori yang direaksi dengan hidrogen dapat dinilai dengan eksperimen ini karena dapat dibuktikan dari adanya penampakan elemen-elemen baru dan sinar-X yang bisa terlihat ketika dipanaskan.⁵⁸

Dari beberapa penelitian terdahulu terdapat persamaan dengan penelitian yang dilakukan yaitu jenis penelitian yang digunakan adalah *liberary research* sedangkan perbedaannya Hipotesis Louis de Broglie hanya digunakan sebagai materi penunjang dalam penelitiannya, bukan merupakan tujuan utama dalam penelitiannya. Namun dalam penelitian ini peneliti akan membahas hipotesis Louis de Broglie sebagai tujuan utama dengan mencantumkan pengamatan difraksi Davisson-Gremer yang membuktikan hipotesis dari Louis de Broglie sehingga penelitian ini berbeda dari penelitian-penelitian yang sebelumnya telah dilakukan. Peneliti akan menganalisis

⁵⁷ Muhammad Irfan, 'Analisis Kesalahan Siswa dalam Pemecahan Masalah Berdasarkan Kecemasan Belajar Matematika', Kreano 8 (2) (2017), hal 143.

⁵⁸ Vladimir K Nevolin, 'Hydrogen Atoms Based on the Hypothesis of Louis de Broglie', (Vol 11, Nomor 12, 2016) hal 1-3.

hipotesis Louis de Broglie yang mengemukakan mengenai partikel sebagai gelombang.



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Sifat Penelitian

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk ke dalam jenis penelitian kualitatif. Penelitian kualitatif adalah penelitian yang berisi pandangan atau keyakinan bahwa fokus penelitian adalah kualitas makna-*meanings* (hakikat dan esensi), akar filsafat yang dianut adalah pada asumsi bahwa : realitas adalah subjektif dan jamak seperti yang ada pada individu-individu partisipan yang diteliti (*asumsi ontologis*), peneliti berusaha melakukan pendekatan dengan partisipan dalam pengumpulan data (*asumsi epistemologis*), peneliti lebih mengutamakan perspektif partisipan (emik) daripada perspektif peneliti (etik), menggunakan gaya penulisan naratif, penggunaan istilah/terminologi kualitatif, dan batasan definisi – definisi yang digunakan (*asumsi retorika*), menggunakan logika induktif, bekerja secara rinci, deskripsi rinci tentang konteks studi yang diteliti, dan di desain penelitian fleksibel/dapat berubah (*asumsi metodologis*).⁵⁹

Penelitian kualitatif menggunakan lingkungan ilmiah sebagai sumber data. Peristiwa – peristiwa yang terjadi dalam suatu situasi sosial merupakan kajian utama penelitian kualitatif. Peneliti pergi ke lokasi tersebut, memahami, dan mempelajari situasi. Studi dilakukan pada waktu interaksi berlangsung

⁵⁹Dikutip dari “Pedoman Penulisan Skripsi Program Studi Pendidikan Fisika”, (Lampung : Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung, 2017/2018), hal 11.

ditempat kejadian. Peneliti mengamati, mencatat, bertanya, menggali sumber yang erat hubungannya dengan peristiwa yang terjadi pada saat itu.⁶⁰

Dalam penelitian ini jenis penelitian kualitatifnya termasuk ke dalam jenis penelitian kepustakaan atau *library reseacrh*. Penelitian kepustakaan merupakan penelitian yang dilaksanakan dengan menggunakan literatur baik berupa buku, catatan, maupun laporan hasil penelitian terdahulu. Penelitian ini termasuk dalam penelitian kepustakaan karena data-data yang diperoleh melalui buku, jurnal dan catatan yang berkaitan dengan objek penelitian. Data-data yang diperoleh dianalisis secara langsung oleh peneliti sehingga membentuk suatu konstruk penelitian yang semakin spesifik.

2. Sifat Penelitian

Adapun sifat penelitian ini merupakan deskriptif analitis. Data yang diperoleh seperti hasil pengamatan, wawancara, pemotretan, analisis dokumen, catatan lapangan, disusun peneliti di lokasi penelitian, tidak dituangkan dalam bentuk dan angka-angka. Peneliti segera melakukan analisis data dengan memperkaya informasi, mencari hubungan, membandingkan, menemukan pola atas dasar data aslinya (tidak ditransformasi dalam bentuk angka). Hasil analisis data berupa pemaparan mengenai situasi yang diteliti yang disajikan dalam

⁶⁰ Trianto, *Pengantar Penelitian Pendidikan Bagi Pengembangan Profesi Pendidikan Dan Tenaga Kependidikan*, 1st edn (Jakarta: Kencana, 2010), hal 180.

berupa pemaparan mengenai situasi yang diteliti yang disajikan dalam bentuk uraian naratif.⁶¹

Sehingga penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran secermat mungkin mengenai suatu individu, atau keadaan tertentu. Maka format penelitian dimulai dengan kata – kata yang objektif lalu disajikan secara deskriptif. Hal ini diperlukan untuk mewujudkan objektivitas penelitian.

B. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian kualitatif menggunakan multi-instrumen, bahkan peneliti itu sendiri yang menjadi instrumen, sehingga data tidak terbatas dihasilkan dari satu instrumen saja.⁶² Oleh karena itu peneliti sebagai instrumen juga harus “divalidasi” seberapa jauh peneliti kualitatif siap melakukan penelitian yang selanjutnya terjun ke lapangan.⁶³

Untuk dapat menjadi instrumen penelitian yang baik, peneliti kualitatif dituntut untuk memiliki wawasan yang luas, baik wawasan teoritis maupun wawasan yang terkait dengan konteks yang diteliti. Sehingga ketika peneliti tidak memiliki wawasan yang luas maka peneliti akan sulit membuka pertanyaan kepada sumber data, sulit memahami apa yang terjadi, dan tidak dapat melakukan analisis dengan baik. Peneliti kualitatif dituntut mampu mengorganisasikan semua teori yang dibaca. Landasan teori yang dituliskan dalam proposal penelitian lebih berfungsi untuk

⁶¹ *Ibid.*

⁶² Wina Sanjaya, *Penelitian Pendidikan: Jenis, Metode Dan Prosedur*, ed. by 1 (Jakarta: Kencana, 2013), hal 43.

⁶³ Sugiyono, *Op.Cit.*, hal 222.

menunjukkan seberapa jauh peneliti memiliki teori dan memahami permasalahan yang diteliti walaupun masih permasalahan yang bersifat sementara. Maka peneliti harus menemukan teori berdasarkan data yang diperoleh dilapangan atau situasi sosial.

C. Sumber Data

Sumber data merupakan subjek darimana data dapat diperoleh. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan dua sumber data yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer adalah data yang langsung memberikan data kepada pengumpul data.⁶⁴ Artinya data primer merupakan data yang dapat diperoleh langsung dari lapangan atau tempat penelitian. Dalam penelitian ini sumber data primer diperoleh dari hasil pengumpulan data melalui membaca beberapa sumber seperti buku, jurnal, artikel dan sebagainya.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan sumber yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalnya lewat orang lain atau lewat dokumentasi.⁶⁵ Data sekunder adalah data-data yang didapat dari sumber bacaan dan berbagai macam sumber lainnya yang terdiri dari majalah, buletin, publikasi dari berbagai organisasi, hasil – hasil studi, hasil survey, studi histori, dan sebagainya. Peneliti

⁶⁴Sugiyono, “*Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*”, (Bandung : Alfabeta, 2016), hal 225.

⁶⁵*Ibid.*

menggunakan data sekunder ini untuk memperkuat penemuan dan melengkapi informasi yang telah dikumpulkan.

D. Teknik Pengumpulan Data

Data merupakan informasi yang didapat melalui pengukuran – pengukuran tertentu, untuk digunakan sebagai landasan dalam menyusun argumentasi logis menjadi fakta. Sedang fakta itu sendiri adalah kenyataan yang telah diuji kebenarannya secara empirik, antara lain melalui analisis data. Teknik pengumpulan data merupakan langkah yang paling strategis dalam penelitian, karena tujuan utama dari penelitian adalah mendapatkan data. Tanpa mengetahui teknik pengumpulan data, maka peneliti tidak akan mendapatkan data yang memenuhi standar data yang ditetapkan. Terdapat empat macam teknik pengumpulan data, yaitu observasi, wawancara, dokumentasi, dan gabungan/triangulasi.⁶⁶

Apabila peneliti menggunakan teknik wawancara dalam pengumpulan datanya, maka sumber data disebut responden (orang yang merespon atau menjawab pertanyaan-pertanyaan dari peneliti). Apabila peneliti menggunakan teknik observasi, maka sumber datanya berupa benda/proses sesuatu. Apabila peneliti menggunakan teknik dokumentasi, maka catatan (data) yang diperoleh menjadi sumber data, dan apabila peneliti menggunakan teknik gabungan/triangulasi maka ketiga teknik diatas digunakan dalam satu penelitian untuk memperoleh data.

⁶⁶*Ibid*, hal 224.

Mengenai teknik pengumpulan data, penelitian dilakukan dengan metode kepustakaan. Berdasarkan jenis penelitian *library research* atau kepustakaan maka peneliti diwajibkan menggunakan teknik utama dalam pengumpulan data dengan cara membaca. Membaca pada prinsipnya memiliki tujuan untuk mencari keterangan – keterangan yang berkaitan dengan data penelitian. Selain itu membaca juga akan memberikan keluasan pandangan, terutama dalam hubungannya dengan objek formal penelitian. Buku- buku yang dibaca selain berkaitan dengan objek material penelitian, juga berkaitan dengan objek formal penelitian, bahkan juga dengan bidang-bidang lain yang relevan.

E. Metode Pengolahan Data

Setelah melakukan proses pengumpulan data, peneliti menghadapi sejumlah besar data mentah yang masih harus ditentukan hubungannya satu dengan yang lainnya. Data yang terkumpul belum mampu menjawab permasalahan dan tujuan penelitian, karena belum ditemukan konstruksi teoritisnya. Oleh karena itu, setelah pengumpulan data maka peneliti kemudian melakukan pengolahan data.

Metode penelitian berhubungan erat dengan prosedur, teknik, alat, serta desain penelitian yang digunakan. Metode penelitian menggambarkan rancangan penelitian yang meliputi prosedur atau langkah-langkah yang harus ditempuh, waktu penelitian, sumber data, serta dengan cara apa data tersebut diperoleh dan diolah/dianalisis. Dalam prakteknya terdapat sejumlah metode yang biasa digunakan

untuk kepentingan penelitian.⁶⁷ Dalam hal ini peneliti menggunakan metode penelitian deskriptif dimana metode ini bertujuan untuk membuat deskripsi secara sistematis, faktual dan akurat mengenai fakta yang didapat di lapangan.

F. Analisis Data

Tahap analisis data merupakan suatu tahap yang sangat memerlukan perhatian serius yang perlu dilakukan oleh peneliti. Tahap analisis data menurut Ary,dkk., merupakan tahap yang sangat kompleks dan pelik dalam penelitian kualitatif. Peneliti sering menghadapi jumlah data yang sangat banyak dan bervariasi, yang berasal dari catatan lapangan, transkrip wawancara, hasil rekaman baik video maupun audio, hasil refleksi atau perenungan, dokumen – dokumen baik tertulis maupun tidak tertulis, dan informasi dari informan atau subjek. Semua data yang dikumpulkan tersebut perlu dianalisis dan diinterpretasikan oleh peneliti.⁶⁸

Analisis data dalam penelitian kualitatif dilakukan sejak sebelum memasuki lapangan, selama di lapangan, dan setelah selesai di lapangan. Dalam hal ini Nasution menyatakan “Analisis telah mulai sejak merumuskan dan menjelaskan masalah, sebelum terjun ke lapangan, dan berlangsung terus sampai penulisan hasil penelitian. Namun dalam penelitian kualitatif, analisis data lebih difokuskan selama proses di lapangan bersamaan dengan pengumpulan data.”⁶⁹ Adapun langkah-langkah penelitian dalam menganalisa data dengan sistematika berikut ini :

⁶⁷Trianto, *Op.Cit*, hal 194-195.

⁶⁸ Punaji Setyosari, *Metode Penelitian Pendidikan Dan Pengembangan*, Cet ke 3 (Jakarta: Prenada Media Group, 2013), hal 77.

⁶⁹Sugiyono, *Op.Cit*, hal 245.

1. Melakukan klarifikasi data menjadi sumber data primer dan sumber data sekunder
2. Membaca sumber-sumber secara simbolik
3. Menspesifikasi sumber-sumber sesuai dengan kebutuhan penelitian
4. Membaca secara rinci dan memahami esensi dari sumber-sumber yang lebih spesifik
5. Menyajikan data secara deskriptif



BAB IV

PEMBAHASAN

A. Perkembangan Fisika klasik dan Fisika Modern

Fisika merupakan ilmu pengetahuan yang mempelajari sifat dan gejala pada benda-benda di alam. Gejala-gejala ini pada mulanya adalah apa yang dialami oleh indra kita, misalnya penglihatan menemukan optika atau cahaya, pendengaran menemukan pelajaran tentang bunyi, dan indra peraba yang dapat merasakan panas. Bidang fisika secara garis besar terbagi atas dua kelompok, yaitu fisika klasik dan fisika modern.

1. Fisika Klasik

Fisika klasik merupakan teori-teori fisika yang didasari prinsip-prinsip yang dikembangkan sebelum adanya teori kuantum. Fisika klasik lebih berfokus pada materi dan energi dari suatu kejadian keseharian yang mudah diamati (kondisi normal). Beberapa topik bahasannya adalah mekanika, termodinamika, bunyi, cahaya, dan elektromagnet (listrik dan magnet). Fisika klasik atau mekanika klasik digunakan untuk memprediksi keadaan benda-benda yang memiliki rangka atau wujud nyata. Mekanika klasik digunakan untuk mengukur benda nyata terlihat yang diam ataupun bergerak.

Fisika Klasik dipelopori oleh penemuan Isaac Newton terkait dengan teori gravitasi. Isaac Newton menerbitkan Filosofi Natural Prinsip Matematika, memberikan penjelasan yang jelas dan teori fisika yang sukses, Hukum gerak Newton, yang merupakan sumber dari mekanika klasik Hukum Gravitasi

Newton, yang menjelaskan gaya dasar gravitasi. Ilmuwan yang juga berperan dalam penemuan dalam bidang Fisika Klasik lainnya seperti Galileo, Johannes Keppler, Johan Bernouli, James Clerk Maxwell, Tomas Young, Fesnell dan Christian Huygens.

Fisika yang berkembang sampai akhir abad ke-19 tersebut kita kenal sebagai fisika klasik yang mempunyai dua cabang yaitu mekanika klasik Newtonian dan teori medan elektromagnetik Maxwellian. Ciri-ciri dari mekanika klasik yaitu hadirnya partikel sebagai sesuatu yang terkurung di dalam ruang. Istilah terkurung dimaksudkan adanya batas antara materi dan sesuatu diluar dirinya atau lingkungannya. Sedangkan medan elektromagnetik dicirikan oleh kuantitas medan dari gelombang yang merambat diseluruh ruangan. Batas antara ruang bermedan dan ruang tanpa medan tidak jelas atau kabur. Ciri utama dari fisika newtonian (klasik) yaitu sifatnya yang masuk akal dan deterministik.

Mekanika klasik yang berkembang berdasarkan hukum-hukum Newton, mendeskripsikan dinamika partikel yang mencakup gerak keplanetan, gerak benda tegar, sifat-sifat elastis zat padat termasuk hidrodinamika dan akustik. Sedangkan elektrodinamika adalah teori yang mendeskripsikan tentang medan listrik dan magnet. Dalam mekanika klasik, keadaan partikel dicirikan dengan posisi dan momentum secara spesifik, berhubungan dengan kehidupan sehari-hari, posisi dan momentum dapat diukur secara serentak dengan akurasi tertentu. Kejadian dalam fisika klasik (deterministik), pengukuran dapat dilakukan

berulang kali sehingga hasil pengukuran dinyatakan dalam bentuk simpangan baku.

Perumusan konsep, prinsip, hukum, atau teori pada mekanika klasik didasarkan pada data hasil pengukuran secara langsung dengan seperangkat alat eksperimen yang sangat terkontrol, dan dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik. Kemudian persamaan matematik tersebut digunakan untuk menjelaskan peristiwa-peristiwa fisis yang teramati, digunakan sebagai dasar untuk meramalkan gejala-gejala alam yang mungkin terjadi karena pengukuran dilakukan secara langsung sehingga mudah dipahami.

Perkembangan fisika klasik bertumpu pada hukum-hukum Newton, baik dalam bidang mekanika, panas, gelombang, dan listrik-magnet, namun dalam pendeskripsian dinamika gerak partikel dalam masing-masing bidang tersebut disamping menggunakan persamaan-persamaan dari hukum-hukum Newton, persamaan Hamilton dan Lagrange juga banyak digunakan. Persamaan Hamiltonian pada dasarnya juga dijabarkan berdasarkan hukum-hukum Newton dan dalam pendeskripsian dinamika gerak partikel digunakan bentuk persamaan energi total yang merupakan jumlah energi kinetik dan energi potensial partikel tersebut, dan dari Hamiltonian pula dapat dijabarkan hukum Newton II.

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa konsep mekanika klasik tidak dapat diaplikasikan pada benda-benda mikroskopik karena tidak dapat diamati secara langsung. Benda-benda mikroskopik hanya dapat dideskripsikan dengan menggunakan media yang berupa fungsi gelombang, karena tidak dapat

diamati secara langsung sehingga hasil pengukurannya hanya bersifat kebolehjadian sehingga posisi dan momentum tidak bisa dispesifikasi (diukur) secara serentak dengan akurasi tertentu. Namun dengan keterbatasannya masih ada bagian mekanika klasik yang mendasari teori baru yaitu mekanika kuantum yang digunakan untuk menjelaskan perilaku benda-benda mikroskopik yaitu hasil percobaan interferensi dua celah Young yang menjelaskan mengenai cahaya berperilaku sebagai gelombang dan persamaan Hamiltonian yang merupakan persamaan energi total yang digunakan sebagai dasar penjabaran persamaan Schrodinger.

2. Fisika Modern

Fisika modern merupakan salah satu bagian dari ilmu fisika yang mempelajari perilaku materi dan energi pada skala atomik dan partikel-partikel subatomik atau gelombang. Pada dasarnya sama seperti dalam fisika klasik, namun materi yang dibahas dalam fisika modern adalah skala atomik atau subatomik dan partikel bergerak dalam kecepatan tinggi. Untuk partikel yang bergerak dengan kecepatan mendekati atau sama dengan kecepatan cahaya, perilakunya dibahas secara terpisah dalam teori relativitas khusus.

Fisika modern secara umum dibagi menjadi dua bagian pembahasan yaitu teori kuantum lama dan teori kuantum modern. Teori kuantum lama memperkenalkan besaran-besaran fisika, seperti energi merupakan besaran diskrit bukan besaran kontinu seperti halnya dibahas dalam mekanika klasik. Teori kuantum lama diawali dengan hipotesis Planck yang menyatakan bahwa energi

yang dipancarkan oleh sumber (berupa osilator) bersifat kuantum/diskrit karena hanya bergantung pada frekuensinya bukan pada amplitudo seperti dalam mekanika klasik dimana besaran amplitudo tidak terbatas (kontinu), sehingga muncullah istilah fisika kuantum dan ditemukannya konsep dualisme partikel-gelombang. Berikut beberapa tokoh dalam fisika modern :

- a. Max Planck memperkenalkan ide bahwa energi dapat dibagi-bagi menjadi beberapa paket atau kuantum. Ide ini secara khusus digunakan untuk menjelaskan sebaran intensitas radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam. Max Planck menganggap bahwa benda hitam menyerap energi dalam berkas-berkas kecil dan memancarkan energi yang diserapnya dalam berkas-berkas kecil pula yang pada akhirnya berkas-berkas kecil itulah disebut kuantum dan menemukan konstanta Planck ($h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$).
- b. Albert Einstein menjelaskan mengenai efek fotolistrik dengan percobaan nya mengamati cahaya yang menyinari permukaan logam (katoda) menyebabkan elektron terpancar keluar sehingga dapat disimpulkan bahwa energi cahaya datang dalam bentuk kuantum yang disebut foton.
- c. Arthur H. Compton melakukan eksperimen penembakan sinar-x terhadap bahan. Didalam eksperimen ini dideteksi cahaya atau sinar-x dan elektron terhambur. Dari eksperimen tersebut memberikan hasil radiasi terhambur terdiri dari dua panjang gelombang yaitu panjang gelombang asal (λ_0) dan panjang gelombang tambahan (λ_s).

- d. Louis de Broglie mengajukan hipotesis bahwa partikel (seharusnya juga) mempunyai gelombang. Berdasarkan hipotesis yang diusulkan de Broglie ada dua gambaran yang berbeda untuk benda yang sama, sebagai gelombang dan sebagai partikel.

Dari uraian di atas ada salah satu ilmuwan fisika yang mengusulkan sebuah hipotesis tanpa melakukan percobaan dimana hipotesisnya tersebut menjadi pelopor munculnya teori cahaya bersifat dualisme gelombang-partikel yaitu Louis de Broglie.

B. Persamaan Hipotesis Louis de Broglie mengenai Gelombang sebagai Partikel

Pada tahun 1924 dengan mempertimbangkan sifat simetri dari alam, Louis de Broglie mengajukan hipotesis bahwa partikel (seharusnya) mempunyai gelombang. Sehingga ia mengemukakan bahwa sifat dualisme yang dimiliki cahaya juga dimiliki oleh partikel yang bermassa. Ciri perkembangan fisika biasanya ditandai dengan periode panjang pekerjaan eksperimen dan teori tidak memuaskan yang kadang-kadang diselingi oleh cetusan berbagai gagasan mendalam yang menyebabkan perubahan mencolok dalam cara kita memandang alam semesta.

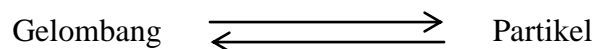
Louis de Broglie berpendapat bahwa partikel yang bermassa seharusnya juga mempunyai gelombang. Dalam artian partikel yang bermassa juga memiliki sifat sebagaimana yang ditunjukkan oleh foton yaitu dapat bersifat sebagai gelombang dan juga sebagai partikel. Dualisme yang dikemukakan oleh de Broglie ini merupakan titik pangkal dari perkembangan mekanika kuantum.

Hipotesis de Broglie mengatakan, gelombang materi semestinya berbentuk gelombang monokromatis dengan panjang gelombang $\lambda = h/p$ dan frekuensi $\nu = E/h$. Dapat disimpulkan bahwa gelombang materi tidak mungkin berupa gelombang monokromatis karena gelombang monokromatis menyebar ke seluruh ruangan sedangkan gelombang materi harus dapat mendeskripsikan partikel. Salah satu contoh dalam kehidupan sehari-hari yang sering kita jumpai yaitu kilat dan petir. Sifat partikel dan gelombang suatu materi tidak tampak sekaligus, sifat yang tampak jelas tergantung pada perbandingan panjang gelombang de Broglie dengan dimensinya serta dimensi sesuatu yang berinteraksi dengannya. Partikel yang bergerak memiliki sifat gelombang. Fakta yang mendukung teori ini adalah petir dan kilat. Kilat akan lebih dulu terjadi daripada petir. Kilat menunjukkan sifat gelombang berbentuk cahaya, sedangkan petir menunjukkan sifat partikel berbentuk suara.

Skema kaitan antara partikel dan gelombang dapat dinyatakan sebagai berikut :



Sehingga terjadi hubungan yang simetris antara gelombang dan partikel



Artinya, gelombang dapat bersifat sebagai partikel dan sebaliknya partikel dapat bersifat sebagai gelombang.

Berikut penjelasan mengenai gelombang partikel yang bergerak dengan kecepatan mendekati kecepatan relativistik, yaitu kecepatan yang besarnya mendekati kecepatan cahaya, besarnya energi partikel adalah

$$E = mc^2 \quad (1.1)$$

Dalam fisika kuantum beberapa persamaan dinamika pada fisika klasik tidak berlaku dalam fisika kuantum karena massa yang berlaku dalam fisika kuantum merupakan massa relativistik sehingga ketika menuliskan energi kinetik relativistik tidaklah benar sebagai $\frac{1}{2}mv^2$. Perubahan energi kinetik $\Delta K = K_f - K_i$.

$$\Delta K = W = \int F dx$$

Ketika benda bergerak dari keadaan diam, $K_i = 0$, maka energi kinetik K adalah

$$K = \int F dx$$

Agar dapat melakukan pembahasan dari segi relativistik maka F didefinisikan ulang dengan menggunakan hukum kedua Newton dalam bentuk umumnya ($F = \frac{dp}{dt}$), sehingga diperoleh :

$$K = \int \frac{dp}{dt} dx = \int dp \frac{dx}{dt} = \int v dp \quad (1.2)$$

Pernyataan tersebut dapat diubah jika menggunakan teknik standar pengintegrasian per bagian, dengan $d(pv) = v dp + p dv$, yang memberikan

$$K = pv - \int_{r=0}^{r=r} p dv$$

Dimana p merupakan momentum relativistik sehingga $p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ maka

$$K = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} v - \int_{r=0}^{r=r} \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} dv$$

$$K = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} + m_0 c^2 \sqrt{1 - v^2/c^2} - m_0 c^2$$

Yang dapat dituliskan dalam bentuk berikut

$$K = mc^2 - m_0 c^2$$

Pernyataan ini memberikan hasil dasar bagi pernyataan energi relativistik. Perbedaan antara besaran mc^2 (yang memiliki satuan energi) bagi sebuah partikel yang bergerak dengan laju v , dengan besaran $m_0 c^2$ (yang juga bersatuan energi) bagi sebuah partikel yang diam. Sehingga energi relativistik total E partikel adalah

$$E = E_0 + K = m_0 c^2 + K = mc^2 \quad (1.3)$$

Sehingga hubungan antara energi dan momentum relativistik

$$E^2 = p^2 c^2 + (m_0 c^2)^2 \quad (1.4)$$

Hubungan energi dan momentum relativistik dapat diibaratkan sebagai teorema Pythagoras bagi segitiga siku-siku yang dua sisi tegaknya adalah pc dan $m_0 c^2$ dengan E sebagai sisi miringnya. Dari persamaan (1.4) kemudian digunakan deret binomial sehingga energi relativistik partikel menjadi⁷⁰ :

$$E = m_0 c^2 \left(1 + \frac{p^2}{2m_0 c^2} + \dots \right)$$

⁷⁰ L.Boas, *Mathematical Methods In The Physical Science* (Belanda: De Paul University, 2006), hal 26.

$$E = m_0 c^2 + \frac{p^2}{2m_0} \quad (1.5)$$

Dari rumus di atas, maka dapat dicari spekulasi yang dikembangkan berdasarkan hipotesis yang diusulkan Louis de Broglie adalah ada dua gambaran yang berbeda untuk benda yang sama, sebagai gelombang dan sebagai partikel, maka hubungan antara kuantitas karakteristik keduanya harus valid, yaitu

$$E = \hbar\omega = h\nu \quad (1.6)$$

Dimana $\hbar = h/2\pi$ dan $\omega = 2\pi\nu$ sehingga

$$E = \frac{h}{2\pi} \times 2\pi\nu$$

$$E = h\nu$$

$$\text{Dan } p = \hbar k = \frac{h}{\lambda} \frac{k}{|k|} \quad (1.7)$$

Persamaan (1.4) dan (1.5) berlaku untuk foton dan juga dipostulatkan berlaku untuk partikel bebas. Sebagai gelombang, partikel bebas dideskripsikan sebagai gelombang bidang dengan fungsi gelombang yang dinyatakan sebagai⁷¹

$$\Psi(r, t) = A \exp\{i(\omega t - k \cdot r)\} \quad (1.8)$$

Eksponen atau pangkat pada persamaan (1.6) disebut fase gelombang

$$\alpha = \omega t - k \cdot r \quad (1.9)$$

Sedangkan cepat rambat gelombang tersebut, $u = (dr/dt)$ ditentukan dari kondisi bahwa fase gelombang tersebut konstan terhadap waktu, maka $(d\alpha)/dt = 0$ dan diperoleh

⁷¹ M.O.Tjia, *Gelombang* (Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1994), hal 15.

$$\omega - k \cdot \left(\frac{dr}{dt} \right) = 0 \text{ atau } |u| = \left(\frac{\omega}{k} \right) = \omega(k) \quad (1.10)$$

untuk memperoleh frekuensi sudut gelombang relativistik dari partikel tersebut maka

$$E = \hbar \omega$$

$$\omega(k) = \frac{E}{\hbar}$$

$$\omega(k) = \frac{m_0 c^2 + \frac{p^2}{2m_0}}{\hbar}$$

$$\omega(k) = \frac{m_0 c^2}{\hbar} + \left(\frac{p^2}{2m_0} \times \hbar \right)$$

$$\omega(k) = \frac{m_0 c^2}{\hbar} + \frac{p^2 \hbar}{2m_0}$$

Frekuensi sudut gelombang relativistic (ω) terhadap partikel (k), maka momentum foton (p) mewakili partikel (k) sehingga

$$\omega(k) = \frac{m_0 c^2}{\hbar} + \frac{k^2 \hbar}{2m_0} \quad (1.11)$$

Dengan menggunakan persamaan (1.11) diperoleh kecepatan fase gelombang relativistik partikel yaitu

$$v_{phase} = \frac{\omega}{k}$$

$$v_{phase} = \frac{m_0 c^2}{\hbar} + \frac{k^2 \hbar}{2m_0}$$

$$v_{phase} = \frac{\left(\frac{m_0 c^2}{k \hbar} + \frac{k \hbar}{2m_0} \right)}{k}$$

$$v_{phase} = \left(\frac{m_0 c^2}{k \hbar} \times \frac{1}{k} \right) + \left(\frac{k \hbar}{2m_0} \times \frac{1}{k} \right)$$

$$v_{phase} = \frac{c^2}{\frac{k\hbar}{m_0}} + \frac{k\hbar}{2m_0}$$

$$v_{phase} = \frac{c^2}{v} + \frac{k\hbar}{2m_0} \quad (1.12)$$

Bila kecepatan fase relativistik dari partikel dibandingkan dengan kecepatan fase dari cahaya yang merambat diruang hampa, maka

$$v_{phase} = \frac{\omega}{k}$$

$$v_{phase} = \frac{\hbar\omega}{\hbar k}$$

$$v_{phase} = \frac{E}{p} = \frac{mc^2}{mv} = \frac{c^2}{v} \quad (1.13)$$

Dilihat dari kedua hasil diatas pada persamaan (1.12) dan (1.13) kecepatan fase gelombang materi selalu lebih besar dari pada kecepatan cahaya dalam ruang hampa.

$v_{phase \text{ partikel}} : v_{phase \text{ ruang hampa}}$

$$\frac{c^2}{v} + \frac{k\hbar}{2m_0} : \frac{c^2}{v}$$

$$\frac{c^2}{v} + \frac{k\hbar}{2m_0} \times \frac{v}{c^2}$$

$$\frac{2m_0c^2 + k\hbar v}{2m_0v} \times \frac{v}{c^2}$$

$$\frac{2m_0c^2v}{2m_0c^2v} + \frac{k\hbar v^2}{2m_0c^2v}$$

$$1 + \frac{k\hbar v}{2m_0 c^2} \quad (1.14)$$

Tetapi menurut Einstein tidak ada benda yang bergerak dengan kecepatan melebihi kecepatan cahaya, maka kecepatan tersebut tidak cocok sebagai variabel dari partikel tersebut, sehingga perlu variabel baru yang mempresentasikan kecepatan partikel yaitu kecepatan group (v_g) yang didefinisikan sebagai

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} \quad (1.15)$$

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} \times \frac{\hbar}{\hbar}$$

$$v_g = \frac{d(\hbar\omega)}{d(\hbar k)}$$

$$v_g = \frac{dE}{dp} \quad (1.16)$$

Bila sebuah partikel bergerak pada lintasan sepanjang ds yang disebabkan oleh pengaruh gaya F , maka besarnya energi partikel yaitu sebagai berikut:

$$dE = F \cdot ds$$

$$dE = \frac{dp}{dt} \cdot s$$

$$dE = v \cdot dp$$

$$v = \frac{dE}{dp} \quad (1.17)$$

Maka dari persamaan (1.16) dan (1.17) dapat disimpulkan bahwa gelombang sama dengan partikel dengan mencari kecepatan group yang mewakili gelombang materi

dan kecepatan partikel yang mewakili partikel itu sendiri. Oleh karena itu kecepatan group dari gelombang materi sama dengan kecepatan partikel.

$$v = v_g \quad (1.18)$$

Untuk menunjukkan hubungan antara gelombang dan partikel, maka diperoleh besarnya panjang gelombang suatu partikel yang menyatakan partikel sebagai gelombang yaitu

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} \quad (1.19)$$

Mengingat bahwa $E = \frac{p^2}{2m_0}$ maka :

$$E = \frac{p^2}{2m_0}$$

$$p^2 = E \cdot 2m_0$$

$$p = \sqrt{2m_0 E} \quad (1.20)$$

Sehingga persamaan (1.19) disubstitusikan dengan persamaan (1.20), maka diperoleh :

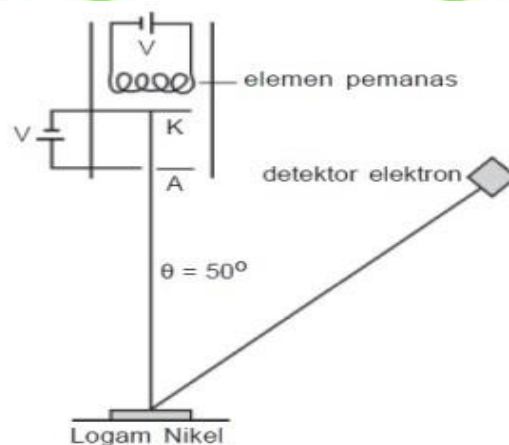
$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E}} \quad (1.21)$$

Dari persamaan (1.21) mengenai panjang gelombang (λ), maka dapat digunakan untuk mengukur panjang gelombang pada partikel foton dengan mengetahui besarnya konstanta Planck (h) dan besarnya momentum pada partikel ketika mengalami tumbukan. Sifat partikel dan gelombang tidak tampak sekaligus,

tetapi sifat yang tampak bergantung pada panjang gelombang dari de Broglie. Sehingga dapat disimpulkan bahwa partikel memiliki sifat sebagai gelombang.

Pengujian hipotesis Louis de Broglie dilakukan oleh C.J Davisson dan L.H. Germer pada pengamatan difraksi dan interferensi gelombang elektron. Penelitian ini dilakukan ketika mereka mengkaji elektron yang memancar dari sasaran nikel di Bell Telephone Laboratories.⁷²

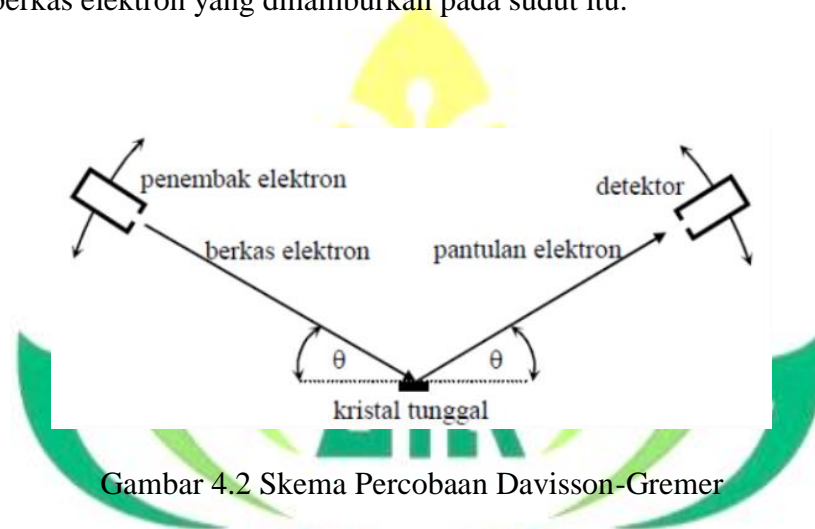
Davisson-Gremer mengkonfirmasi perilaku gelombang dari elektron yang mengalami difraksi Bragg. Elektron Termionik yang dihasilkan oleh hot filamen dipercepat dan difokuskan ke target pada kondisi vacuum. Menurut mekanika klasik seharusnya elektron akan dihamburkan ke segala arah. Namun kenyataannya elektron dihamburkan pada sudut ϕ ke detektor yang dapat digerakkan.



Gambar 4.1 Percobaan Davisson-Gremer untuk mempelajari difraksi elektron

⁷² Rustam E. Siregar, Op.Cit, hal 7.

Percobaan ini menggunakan seberkas elektron dari suatu kawat pijar panas yang dipercepat melalui suatu beda potensial V . Setelah melewati suatu celah kecil, berkas elektron ini menumbuk kristal nikel tunggal. Elektronnya lalu dihamburkan ke segala arah oleh atom kristal, beberapa menumbuk suatu detektor, yang dapat digerakkan ke sembarang sudut ϕ relatif terhadap arah berkas datang, yang mengukur intensitas berkas elektron yang dihamburkan pada sudut itu.



Gambar 4.2 Skema Percobaan Davisson-Gremer

Dari skema percobaan di atas, terlihat pantulan berkas elektro oleh permukaan kristal ternyata mencapai nilai maksimum pada sudut tertentu, sesuai dengan relasi Bragg

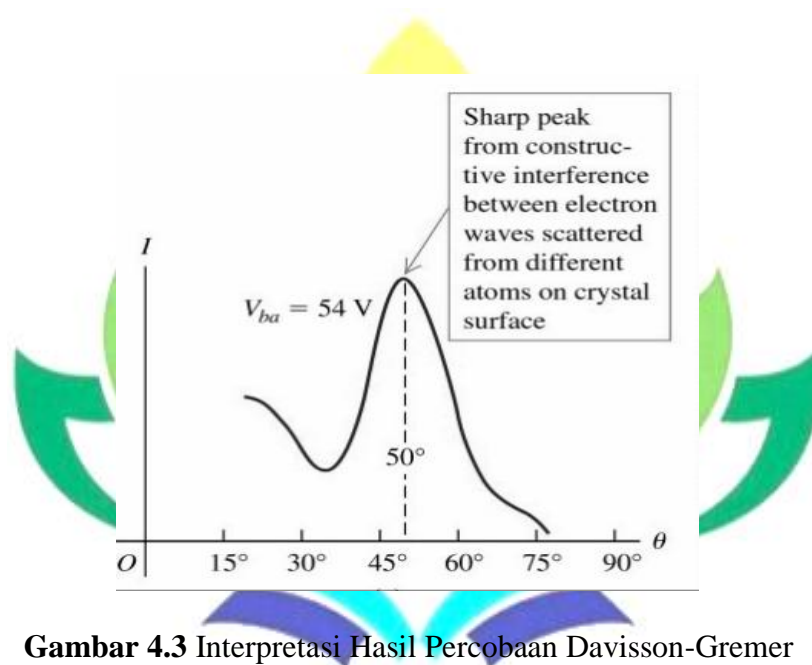
$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

dengan n adalah bilangan bulat, λ adalah panjang gelombang, dan d adalah jarak dua bidang kisi yang berurutan dalam kristal.⁷³

Panjang gelombang λ tergantung dari energi elektron yang ditembakkan yang berarti tergantung dari tegangan akselerasi pada penembak elektron. Nilai maksimum

⁷³ Kenneth Krane, Op.Cit, hal 134.

ini ditafsirkan sebagai interferensi yang saling menguatkan, artinya gelombang pantulan mempunyai fasa yang sama. Persamaan diatas menunjukkan bahwa perbedaan sudut antara dua pantulan maksimum yang berurutan, atau $\sin \theta$, tergantung dari λ/d . Jadi jika panjang gelombang terlalu kecil maka posisi pantulan maksimum akan sangat berdekatan.



Gambar 4.3 Interpretasi Hasil Percobaan Davisson-Gremer

Dari grafik diatas terlihat bahwa interferensi maksimum menyebabkan intensitas berkas pantul mencapai suatu maksimum pada sudut $\phi = 50^\circ$ untuk beda tegangan sebesar 54 V. Bila beda tegangan diperbesar atau diperkecil sedikit, arus listriknya berkurang dengan drastis. Bila sudutnya diubah sedikit, arus listriknya juga berkurang dengan drastis. Maka disimpulkan bahwa elektron didifraksikan oleh atom pada permukaan logam seperti yang telah dipostulatkan oleh de Broglie bahwa partikel (elektron) berperilaku sebagai gelombang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian teoritis dan pembahasan yang diperoleh selama penelitian, maka penulis menyimpulkan bahwa setiap partikel yang bergerak selalu memiliki panjang gelombang $\lambda = h/p$ sehingga energi total dari partikel adalah $E = \frac{p^2}{2m_0}$. Maka dari kondisi ini diperoleh besarnya panjang gelombang dari suatu partikel yaitu $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0E}}$. Sifat partikel dan gelombang tidak tampak sekaligus, sifatnya yang tampak bergantung pada panjang gelombang dari de Broglie dengan dimensinya serta dimensi sesuatu yang berinteraksi dengannya. Maka hal tersebut menunjukkan bahwa partikel sebagai gelombang.

B. Saran

Fisika merupakan ilmu alam yang mempelajari materi beserta gerak dan perilakunya dalam lingkup ruang dan waktu, bersamaan dengan konsep yang berkaitan seperti energi dan gaya. Tujuan utama fisika adalah memahami bagaimana alam semesta bekerja. Fisika juga berperan penting dalam perkembangan teknologi yang berkembang dari pemikiran teoritis. Sehingga saran dari peneliti hendaknya senantiasa mempelajari lebih lanjut tentang fisika yang masih menyimpan banyak misteri yang belum terungkap. Peneliti berharap untuk penelitian selanjutnya terutama mengenai teori fisika terus dikembangkan hingga berbagai pokok kajian ataupun

lebih fokus pada hal-hal yang bisa diterapkan dalam bidang sains keilmuan atau masyarakat.



DAFTAR PUSTAKA

Agus Sulistiyo, Arlien Siswanti, Fatkhur Rohman, Figur Humani, Habib Sabil R,
'Menentukan Besarnya Gaya Kuantum Planck Dengan Metode Efek Fotolistrik',
(Semarang : Universitas Diponegoro, 2017).

Bahtiar, Ayi, 'Fisika Modern : Definisi , Konsep Dan Aplikasinya', (Bandung :
Universitas Padjajaran, 2007).

Baiquni, A., *Fisika Modern* (Jakarta: Balai Pustaka, 2001).

E.Siregar, Rustam, *Teori Dan Aplikasi Fisika Kuantum* (Bandung: Widya Padjajaran,
2010).

Hasan, Yaziz, 'Fisika Dalam Perspektif: Suatu Tinjauan Perkembangan Dan Peran
Masyarakat', (Jakarta : Pusat Pengkajian Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Atom
Nasional, 2014).

Kenneth krane, *Fisika Modern Terjemahan Hans J.Wospakrik* (Jakarta: Universitas
Indonesia (UI Press), 2008).

Kristianing, Yuli Marhendra, 'Analisis Struktur Atom Polikristal Grafit Dengan
Metode Difraksi Elektron Menggunakan Tabung Difraksi Teltron 2555',
(Surakarta : Universitas Sebelas Maret, 2007).

L.Boas, *Mathematical Methods In The Physical Science* (Belanda: De Paul
University, 2006).

M.O.Tjia, *Gelombang* (Bandung: Institut Teknologi Bandung, 1994).

Natalis, Dies XVIII, 'Perkembangan Dan Peran Ilmu Fisika Dalam Pendidikan Karakter', (Bandung : Universitas Katolik Parahyangan, 2011).

Nevolin, Vladimir K, 'Hydrogen Atoms Based on the Hypothesis of Louis de Broglie', (Rusia : University Riset National Teknologi Elektronik Moscow, Vol 11, Nomor 12 2016).

Purwanti, Dwi, *Fisika Dasar II Buku Ajar Untuk Mahasiswa Teknik*, (Semarang : Universitas Negeri Semarang, 2010).

Purwanto, Agus, *Fisika Kuantum* (Yogyakarta: Gava Media, 2005)

Rahmayani, Hanifah, Hidayati, and Pakhrul Razi, 'Perhitungan Tingkat Energi Sumur Potensial Keadaan Terikat Melalui Persamaan Schrodinger Menggunakan Metode Beda Hingga', (Bandung : Universitas Negeri Padjajaran, 2014).

Rosana, Dadan, Sukardiyono, and Supriyadi, 'Konsep Dasar Fisika Modern', (Yogyakarta : Universitas Negeri Yoyakarta, 2000).

Sanjaya, Wina, *Penelitian Pendidikan: Jenis, Metode Dan Prosedur*, ed. by 1 (Jakarta: Kencana, 2013)

Saregar, Antomi, 'Analisis Spektrum dan Fungsi Gelombang Potensial Non-Centra Menggunakan Super Simetri Mekanika Kuantum, Jurnal Ilmiah Pendidikan

Fisika Al-Biruni, Vol 04, No 2, (2015).

Saregar, Antomi, 'Pembelajaran Pengantar Fisika Kuantum Dengan Memanfaatkan Media Phet Simulation Dan LKM Melalui Pendekatan Sains', Jurnal Pendidikan Fisika Al-Biruni, Vol 5, Issue 1, (2016).

Setyosari, Punaji, *Metode Penelitian Pendidikan Dan Pengembangan*, Cet ke 3 (Jakarta: Prenada Media Group, 2013)

Suparmi, and Cari, *Mekanika Kuantum Penyelesain Persamaan Schrodingers Dengan Supersimetri Dan Fungsi-Fungsi Khusus* (Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret, 2012)

Taib, Lukhman Abdul, 'Sejarah, Falsafah, Dan Perkembangan Persamaan Schrodinger: Satu Tinjauan Awal', (Malaysia : International Islamic University Malaysia, 2016).

Trianto, *Pengantar Penelitian Pendidikan Bagi Pengembangan Profesi Pendidikan Dan Tenaga Kependidikan*, 1st edn (Jakarta: Kencana, 2010)

Wijayanto, Mirda Prisma, *Koreksi Order-2 Fungsi Gelombang Dan Energi Ion Lithium Dengan Pendekatan Teori Gangguan*, (Jember : Universitas Jember, 2016).